

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta  
Ústav pro životní prostředí**

**Ekologie a ochrana prostředí  
Ochrana životního prostředí**



**Mapování povodí Litavky s využitím GIS**

*Mapping Of Litavka Basin Using GIS*

**Bakalářská práce**

**Magdalena Barešová**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Luboš Matějíček, Dr.**

**Září 2010**

### **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením pana Ing. Luboše Matějčka, Dr. s použitím citované literatury.“

V Dolním Bousově dne 23. srpna 2010

Podpis

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala především Ing. Luboši Matějčíčkovi, Dr. za zadání, konzultace a trpělivost při vedení mé bakalářské práce a zapůjčení odborných publikací.

Chtěla bych poděkovat také RNDr. Jaroslavu Tonikovi, RNDr. Davidu Hardekopfovi, RNDr. Jolaně Táťosové a Mgr. Anně Benčokové za doporučení a zapůjčení tématické literatury.

Děkuji paní Blance Popelákové a paní Sylvě Novákové za vřelou pomoc při práci v Laboratoři ochrany vod.

V neposlední řadě patří poděkování Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu úřadu v Praze za laskavé poskytnutí mapových podkladů pro tento projekt.

Děkuji samozřejmě také mé rodině a blízkým za všestrannou podporu.

## Obsah

Prohlášení.....	2
Poděkování.....	3
Obsah.....	4
Abstrakt.....	6
Klíčová slova.....	6
1. Úvod .....	8
Teoretická část.....	9
2. Aplikace GIS .....	9
2.1. Definice a vymezení GIS .....	9
2.2. Geodatabázový systém správy dat .....	9
2.3. GIS datové struktury .....	9
2.4. Digitální model terénu (Digital terrain model - DTM) .....	11
2.5. Modelování v prostředí GIS.....	11
2.6. Zdroje vstupních dat GIS .....	12
3. Vybrané projekty GIS.....	13
3.1. Základní báze geografických dat (ZABAGED).....	13
3.2. Národní inventarizace kontaminovaných míst (NIKM) .....	14
3.3. Některé další vybrané projekty a společnosti zabývající se GIS .....	15
4. Kvalita povrchových vod v ČR .....	17
5. Charakteristika Litavky a zájmového území .....	20
6. Výzkum v oblasti.....	25
Praktická část.....	32
7. Projekt GIS .....	32
7.1. Mapové podklady.....	32
7.1.1.ZABAGED.....	32
7.1.2.Letecké snímky NIKM.....	32

7.2.	Projekt ArcMap.....	33
7.3.	Projekt ArcScene.....	37
8.	Chemická analýza vzorků vody.....	39
8.1.	Hodnocení výsledků chemické analýzy vzorků vody.....	39
9.	Diskuse .....	43
10.	Závěr.....	44
11.	Literatura .....	45
12.	Mapové podklady .....	49
	Seznam použitých zkratk.....	50
13.	Přílohy .....	51
13.1.	Metodika stanovení ukazatelů jakosti vody .....	51
13.2.	Obrazová příloha .....	58
13.2.1.	Mapové vrstvy generované prostřednictvím GIS .....	58
13.2.2.	Fotografie odběrových míst .....	68

## **Abstrakt**

Podstatou práce je využití Geografického informačního systému (GIS) při modelovém hodnocení vybrané části povodí Litavky. Teoretická část práce je zaměřena na popis GIS, GPS a vybraných projektů GIS (ZABAGED a Národní inventarizace kontaminovaných míst). Praktická část práce je zaměřena na zpracování získaných dat. Byly vytvořeny tematické vrstvy: digitální model terénu (DTM), tematická vrstva týkající se svažitosti, příklonu k severu (azimut), vrstva leteckých snímků obsahující aktuální a historický stav. Projekt byl doplněn tematickou vrstvou zkušebních odběrových profilů. Součástí praktické části byla také chemická analýza vzorků vody z Litavky provedená v Laboratoři ochrany vod Ústavu pro životní prostředí. Účelem bylo prokázat vliv vesnické aglomerace na změnu kvality vody. Podle stanovených ukazatelů byla určena jakostní třída toku dle České technické normy ČSN 75 7221 Jakosti vod. Veškerá získaná data byla vložena do projektu GIS.

## **Klíčová slova**

Geografický informační systém, mapování, digitální model terénu, globální polohový systém, Litavka, povodí, kvalita povrchových vod

## **Abstract**

The purpose of this work is the use of the Geographic Information System (GIS) for a model evaluation of a selected area of Litavka basin. The theoretical section focuses on the description of GIS, GPS and selected GIS projects (ZABAGED, National inventory of contaminated sites, ArcČR500). The practical area focuses on processing the data. There were several thematic layers created including: the digital terrain model (DTM), thematic layer on the slope, aspect to the north, and a layer of aerial photographs containing current and historical status. The project was completed with a thematic layer of test sampling profiles. The practical part included a chemical analysis of water samples from Litavka carried out in Laboratory of water protection of the Institute for Environmental Studies. The purpose was to demonstrate the influence of rural agglomeration on water quality changes. The quality grade of the flow was determined by appointed indicators according to the Czech Technical Standard CSN 75 7221 Water quality. All data was entered into the GIS project.

## **Key words**

Geographical Information System, mapping, Digital Terrain Model, Global Positioning System, Litavka, river basin/watershed, quality of surface water

## 1. Úvod

Geografické informační systémy zaznamenávají již od svého vzniku na severozápadě Ameriky neustálý vývoj. Geoinformační systém, soubor nástrojů pro sběr, ukládání, vyhledávání, transformaci, analyzování a zobrazování prostorových údajů definovaných v prostoru reálného světa souřadnicovým systémem (Burrough & McDonnell, 1998) expanduje díky současnému trendu digitazace veškerých informací do stále širšího spektra využití. Z výzkumných laboratoří se GIS postupně rozšířil přes vzdělávací instituce do státní správy i soukromého sektoru, v současném informačním věku skutečně neexistuje obor, kde by nebylo možné GIS uplatnit. GIS umožňuje analýzu otázek prostorového charakteru (Johnston, 1998), zároveň je významným nástrojem zpracování, tvorby a zobrazování map (Maguire et al., 2005), které jsou nejvyužívanějším výstupem systému.

Těžištěm práce je využití GIS při zpracování získaných prostorových a kvalitativních dat vybraného území v povodí Litavky. Snahou bylo představit možnosti GIS při mapování a modelování přírodních jevů. Podklady pro praktickou část práce byly získány z projektu ZABAGED a Národní inventarizace kontaminovaných míst a vlastní chemickou analýzou ukazatelů jakosti vod zvolených odběrových profilů na Litavce.



## **Teoretická část**

### **2. Aplikace GIS**

#### **2.1. Definice a vymezení GIS**

Geografický informační systém je integrací počítačového hardware a software navrženou pro pořizování, správu, analýzu a zobrazení digitalizovaných prostorových dat ve společném souřadnicovém systému (Johnston, 1998). GIS nám umožňuje pochopit, interpretovat a vizualizovat geografické informace mnoha způsoby odhalujícími jejich vztahy, vzory a trendy nejčastěji v podobě mapových výstupů (ESRI, 2010).

GIS je prostředkem zpracování, tvorby a zobrazování map, databází pro potřebu inventarizace dat a zároveň je GIS nástrojem prostorové analýzy a modelování (Maguire et al., 2005). V poslední době roste potřeba využití GIS k návrhu konkrétních řešení problémů pro podporu rozhodování (Decision Support System-DSS) (Graymore et al., 2009).

#### **2.2. Geodatabázový systém správy dat**

Základem správy většiny dat v GIS je databázový přístup. Každý objekt v projektu ArcGIS má svůj jednoznačný identifikátor, s jehož pomocí k němu lze připojit tematicky různé atributy – tzv. relační model databáze (Tuček, 1998). Relační databáze uchovává atributy objektů spolu s geografickou polohou, proto je nazývána geodatabází (Maidment, 2002). Databázové systémy (DBMS) navržené k organizaci dat v databázi dnes patří ke standardnímu programovému vybavení. Některé GIS mají vlastní interní systémy řízení báze dat (DBMS), jiné jsou spojeny s externí databází (např. dBase, INFO, Informix, Ingress, Oracle), která umožňuje uživateli manipulovat s údaji mimo GIS (Johnston, 1998). V ArcGIS k tomuto účelu slouží ArcCatalog.

#### **2.3. GIS datové struktury**

V rámci GIS existují dva základní typy povahy a správy dat, vektorová a rastrová reprezentace prostorových objektů.

##### **2.3.1. Vektorová datová struktura**

Vektorová data reprezentují body, linie a polygony zastupující konkrétní objekty v prostoru (Johnston, 1998). Geoobjekty jsou definovány svou geometrií (polohou vyjádřenou v souřadnicovém systému), topologií (prostorovými vztahy k jiným objektům), popisnými vlastnostmi (atributy) a dynamikou (časovou proměnlivostí) (Burrough & McDonnell, 1998). Základními stavebními prvky vektorové reprezentace jsou body a linie (v topologické smyslu

uzly a hrany). Uzavřený řetězec linií (hran) je pak plochou ve smyslu geometrickém a topologickým polygonem. Presentována je lineární struktura liniových objektů, hranice plošných objektů a poloh bodových objektů (Tuček, 1998).

Pro vektorový formát je charakteristický vrstevný přístup vytváření pokrytí (coverage), vychází z navrhování a vytváření topografických a tematických map. Geografická reprezentace je uspořádána v nad sebou ležících tematických vrstvách. Tematická vrstva je sada společných prvků představující konkrétní jednotlivé téma jako je říční síť, typ půdního pokryvu nebo nadmořská výška povrchu (Arctur & Zeiler, 2004). Vrstvy je možné vzájemně kombinovat. Všechna pokrytí musí mít stejný souřadnicový systém, měřítko a musí se vztahovat k té samé ploše (Tuček, 1998).

Obecně je vektorová struktura vhodnější pro analýzy a modelování individuálních objektů, lineárních prvků a sítí (Johnston, 1998), výhodná je i práce s plošnými objekty, protože vektorová reprezentace uchovává pouze údaje o hranicích objektů. Výhodou je dobrá reprezentace jevové struktury dat, kompaktnost struktury, kvalitní grafika a malý objem uložených údajů. Nevýhodou je komplikovanost datové struktury a nevhodnost pro analýzu souvislých povrchů (Tuček, 1998).

### **2.3.2. Rastrová datová struktura**

Rastrový GIS, známý také jako Grid, definuje hodnotu sledovaných jevů v konkrétních polohách prostoru, v rastrové reprezentaci objekty jako takové neexistují. Vlastnosti zobrazuje jako mřížky nejčastěji pravidelných čtvercových buněk, které jsou nejmenším nedělitelným elementem rastru, v digitálním obraze je to pak pixel (Johnston, 1998). Mozaikový (rastrový) model kompletně vyplňuje zkoumanou plochu (prostor) (Kolejka, 2002). Buňky tohoto modelu jsou neoddělitelně spojené s atributovými hodnotami v nich (Tuček, 1998). Základní charakteristikou mřížky je její rozlišení (velikost buněk) (Šobra, 2004).

Buňky mohou být také hexagonální či trojúhelníkové, pravidelné nebo nepravidelné s definovaně se měnící velikostí buňky (Johnston, 1998). Nepravidelná dělení prostoru vytvářejí buňky různého tvaru i velikosti. Nejvyužívanější je čtvercový rastr buněk (Arctur & Zeiler, 2004), který je kompatibilní s karteziánskými souřadnicovými systémy. Výhodou hexagonální mřížky je stejná vzdálenost všech středů sousedících buněk, tato symetrie je výhodná pro některé analytické funkce. Pro trojúhelníkovou síť je charakteristická různá orientace jednotlivých buněk, která je výhodná pro reprezentaci terénu a jiných

povrchů. Většinou se jedná o trojúhelníky s proměnlivou velikostí a tvarem (nepravidelné trojúhelníkové sítě) (triangulated irregular networks) TIN. Nejčastěji se využívají právě k reprezentaci povrchů (modelů terénu) (Tuček, 1998).

Rastrová struktura je vhodnější pro zobrazování spojitých dat, kdy analýza zahrnuje prostorově distribuované modelování (např. nadmořská výška, koncentrace látek v ovzduší) (Johnston, 1998), ale lze mapovat i nespojitě údaje (např. výskyt fytoocenologických společenstev v území) (Šobra, 2004). Mezi výhody rastrové datové struktury patří její jednoduchost, snadná kombinace s jinými rastrovými údaji, zvláště s údaji DPZ, které mají také rastrovou strukturu. Nevýhodou je velký objem uložených dat, nepřesnost při výpočtu délek, vzdáleností a ploch při použití nedostatečně jemného rastru, nevhodnost pro analýzy sítí a jen přibližné modelování geometrie a topologie (souvislost s velikostí buňky) (Tuček, 1998).

## **2.4. Digitální model terénu (Digital terrain model - DTM)**

Pro modelování zemského povrchu jsou nejvhodnější pravidelné rastrové reprezentace a nepravidelné nejčastěji trojúhelníkové sítě (TIN). Nepravidelné struktury se v praxi uplatňují častěji pro svůj úsporný popis topologie a tedy menší objem dat (Šobra, 2004).

Jako vstupní data DTM využívají pozemní geodetická měření, fotogrammetrické zdroje a radarová měření. Výškové údaje lze odvodit také z kartografických map obsahujících výškopis, nejvíce se uplatňuje digitalizace vrstevnicových map (Tuček, 1998).

Digitální model terénu vytváří podklad pro veškeré analýzy a modelování přírodních fenoménů (Arctur & Zeiler, 2004).

### **2.4.1. Nepravidelné trojúhelníkové sítě (Triangulated Irregular Networks)**

TIN využívají rozdělení terénní plochy na dílčí plochy, nejčastěji trojúhelníkového tvaru. Nejdůležitější jsou informace o prostorových vrcholech trojúhelníků, jejich poloha v souřadnicovém systému a hodnota jejich výšky. Hranice trojúhelníků se snaží co nejvýstižněji sledovat linie výrazných změn v průběhu terénní plochy. Nevýhodou je složitost struktury a jejího vzniku (Tuček, 1998).

## **2.5. Modelování v prostředí GIS**

Modelování, v rámci geografických informačních systémů, je jakýmkoli pokusem napodobit reálné geografické procesy, ať už v jednom časovém okamžiku nebo po delší

časový úsek. Integraci prostorových údajů a hydrologickými modely umožňuje datový model pro vodní zdroje ArcHydro (Maguire et al., 2005).

Hydrologické modelování analyzuje čtyři hlavní problematické okruhy, povodně, sucha, znečištění a degradaci vodních ekosystémů. V projektu Regional Watershed Modeling System byl vytvořen jeden model zahrnující problematiku záplav, kvalitu povrchových a podpovrchových vod, vodárenství se záměrem následného využívat výsledného integrovaného modelovacího systému pro podporu plánování a řízení vodního hospodářství v Texasu (Maguire et al. 2005).

V malém povodí řeky Porijõgi v jižním Estonsku byl v rámci GIS vytvořen model pro analýzu dopadů změn ve využívání půdy na vývoj dusíku v toku během dvou období s výrazně odlišnou úrovní zemědělské činnosti. Model zahrnoval atmosférickou depozici, využití půdy, typ půdy, sklonitost svahu a odtok ze zemědělských pozemků (Kull et al., 2005).

Pro modelování malých povodí se využívá SWAT (Soil and Water Assessment Tool), program a model pro analýzu půdy a vody v prostředí ArcGIS. Model SWAT sleduje především půdní hospodářství a jeho vliv na povodí (SWAT, 2010).

Prostřednictvím SWAT bylo modelováno povodí Colworth ve Velké Británii. Model simuloval počasí, růst zemědělských plodin, evapotranspiraci, povrchový odtok, erozi, přísun živin, zavlažování a mnoho dalších vlastností povodí (Kannan et al., 2007). SWAT byl využit také v povodí Blšanky, v severozápadních Čechách (Kliment et al., 2008).

## **2.6. Zdroje vstupních dat GIS**

### **2.6.1. Global Positioning Systems (GPS)**

Zjišťování polohy dnes výrazně zjednodušují, urychlují, zlevňují a zpřesňují systémy GPS (Johnston, 1998). Jedná se o satelitní technologii, ve které se poloha přijímače na libovolném místě na Zemi vypočítává na základě jeho relativní polohy vůči více satelitům (Tuček, 1998). GPS vybudovala a provozuje armáda Spojených států amerických primárně pro plnění svých úkolů (Johnston, 1998). Jedná se o soubor minimálně 24 družic systematicky rozmístěných na šesti oběžných drahách kolem Země a vysílajících nepřetržitě navigační signály. U běžných turistických přijímačů se chyba určení horizontální polohy pohybuje v rozmezí 3–5 m, profesionální geodetická měření pracují s přístroji s chybou jen několika málo cm (Rapant & Vojtek, 2009).

Kombinace GIS, GPS, přenosného počítače a mobilního komunikačního prostředku (např. GSM modemu) představuje mobilní geoinformační technologie (MGIT). MGIT jsou vhodné pro mapování v terénu, získaná geodata je možné průběžně ukládat do GIS a přenášet je na centrální server, ze kterého se mohou stahovat geodata týkající se aktuální polohy přijímače GPS (Rapant & Vojtek, 2009).

Vzhledem k tradicím a historickému vývoji se v různých zemích používají se různá kartografická zobrazení. V ČR je závazným souřadnicovým systémem Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) (Tuček, 1998). GPS využívají jednotně World Geodetic System 1984 (WGS-84), globální souřadnicový systém, který jednoznačně definuje polohu na Zemi (Johnston, 1998).

### **2.6.2. Dálkový průzkum Země (DPZ) - fotogrammetrie**

Fotogrammetrie se zabývá rekonstrukcí tvaru, velikosti a polohy předmětů zobrazených na fotogrammetrických snímcích. Měření se tedy neuskutečňují na samotném objektu, ale na fotografiích optických modelů objektů vytvořených z měřičských snímků. Při zpracování a vyhodnocování snímků centrálních projekcí, je nutná numerická či analogová transformace na projekci ortogonální. Fotogrammetrii rozlišujeme pozemní a leteckou, jedno a dvojsnímkovou, při které se vyhotovují snímkové dvojice tak aby vytvářely prostorový model. Digitální fotogrammetrie využívá obrazy v digitální formě, analogová ve formě grafické. Pro GIS je významná především digitální fotogrammetrie. Mozaika ortofotosnímků je snad nejvýznamnějším zdrojem vstupních dat pro zpracování v prostředí GIS (Tuček, 1998). Letecké ortofotosnímky jsou základem praktické části této práce.

## **3. Vybrané projekty GIS**

### **3.1. Základní báze geografických dat (ZABAGED)**

Projekt ZABAGED je součástí státního informačního systému, kde sehraává integrační úlohu vytvořením společné geometrické osnovy všech prostorově orientovaných informačních systémů. Garantem projektu je Český úřad zeměměřičský a katastrální (Tuček, 1998).

ZABAGED je digitální geografický model území ČR získaný digitalizací Základní mapy České republiky v měřítku 1:10 000 (ZM 10), v souřadnicovém systému S-JTSK. Od roku 1995 mapuje postupně celé území ČR a jeho výstupem jsou digitální vektorové mapy

v rozlišení 1:10 000. V roce 2005 byla dokončena první celoplošná aktualizace ZABAGED za účelem zpřesnění a aktualizace polohopisu a doplnění atributové části databáze. Využívány byly zejména fotogrammetrické metody a topografické měření přímo v terénu. Dále jsou plánovány tříleté cykly aktualizace a doplňování ZABAGED prostřednictvím nově zpracovaných leteckých měřičských snímků a barevných ortofot, která budou vytvářena každý rok pro třetinu území České republiky.

ZABAGED obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu. Součástí ZABAGED jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky a výškopis reprezentovaný prostorovým 3D souborem vrstevnic (ČÚZK, 2010).

### **3.2. Národní inventarizace kontaminovaných míst (NIKM)**

V letošním roce byl Cení, Českou informační agenturou životního prostředí zveřejněn projekt Národní inventarizace kontaminovaných míst (NIKM). Projekt je zaměřen na metodiku plošné inventarizace kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst a na kategorizaci priorit na území České republiky. V první etapě projektu (2009-2012) se vytváří nástroje a metodické postupy pro vlastní inventarizaci, která bude realizována v etapě druhé. Cílem projektu je zajištění efektivního a jednotného postupu identifikace, evidence a hodnocení kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst. Základem jednotné datové platformy je stávající databáze SEKM (Systém evidence kontaminovaných míst). Bude vytvořen mapovací, evidenční a informační aparát, který bude využitelný v průběhu celého procesu sledování kontaminované lokality, od jejího zjištění, přes průzkum, analytiku, správní řízení, sanační zásahy až po závěrečný monitoring a případné správní zajištění či přeřazení mezi nekontaminované lokality. Projekt je spolufinancován z fondů Evropské unie jmenovitě z Fondu soudržnosti v rámci Operačního programu Životní prostředí.

Podkladové letecké snímky pro projekt poskytl Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř) Dobruška, Ministerstvo obrany, 2009 (Cenia, 2010a).

### **3.3. Některé další vybrané projekty a společnosti zabývající se GIS**

#### **DIBAVOD**

Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD) je vodohospodářskou nadstavbou ZABAGED. Jedná se o referenční geografickou databázi vytvořenou z vrstev ZABAGED. Jejímí hlavními úkoly jsou prostorové analýzy v GIS a tvorba tématických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1:10 000. DIBAVOD je spravován Oddělením geografických informačních systémů a kartografie VÚV T.G.M., v.v.i. (DIBAVOD, 2010).

#### **ArcČR 500**

ArcČR 500 je digitální vektorová geografická databáze pro území České republiky, zpracovaná v měřítku 1:500 000. ArcČR 500 navazuje na podobné evropské a americké databáze zpracovávané ESRI (Environmental Systems Research Institute). Cílem projektu je zpřístupnění přehledných geografických informací uživatelům GIS. Podkladem pro zpracování základních geografických informací v digitální formě jsou mapy a databáze poskytnuté ČÚZK (ArcData Praha, 2010).

#### **HEIS ČR**

HEIS ČR (Hydroekologický informační systém) vytváří jednotný informační systém pro podporu výkonu státní správy ve vodním hospodářství s vazbou na Státní informační systém a další subsystémy Jednotného informačního systému životního prostředí. HEIS plní významnou úlohu v oblasti odborné podpory výkonu státní správy ve vodním hospodářství. HEIS ČR podporuje sedm dílčích informačních systémů (nadregionální IS Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. (HEIS VÚV) a Českého hydrometeorologického ústavu (HEIS ČHMÚ) a pět regionálních IS podniků Povodí Labe, Vltavy, Ohře, Moravy a Odry) (HEIS VUV, 2010).

#### **GISAT**

Gisat byl založen v roce 1990 jako první firma poskytující geoinformační služby v oboru dálkového průzkumu Země (DPZ) v České republice. Gisat nabízí data DPZ, topografické a tématické mapy, statistická a tématická data. Mezi hlavní typy dodávaných družicových dat patří například QuickBird, Envisat, Landsat a mnoho dalších (GISAT, 2010).

## **GEODIS**

Přední evropskou společností v oblasti geodézie, fotogrammetrie a dálkového průzkumu Země je původem česko-rakouská společnost GEODIS. GEODIS se věnuje leteckému snímkování, pozemnímu měření a zpracování satelitních snímků. Mezi partnery GEODIS patří ministerstva, katastrální agentury, orgány státní správy, energetické a telekomunikační společnosti, i ministerstva. Letecké snímkování Geodis provádí například i pro ČÚZK (GEODIS, 2010).



#### 4. Kvalita povrchových vod v ČR

Na počátku 90. let patřila většina našich vodních toků do kategorií silně a velmi silně znečištěných. Kvalita povrchových vod se od té doby zásadně zlepšila, přesto se v řekách vyskytují znečišťující látky v nebezpečných koncentracích, které toky zařazují až do páté třídy jakosti vod. Během první poloviny 90. let míra znečištění razantně poklesla především díky omezení bodových zdrojů znečištění, průmyslové výroby. Ve druhé polovině se začala pozitivně projevovat výstavba a modernizace čistíren odpadních vod, ve které se pokračuje dodnes. Přesto mnoho obcí stále nemá čistírny odpadních vod a splaškové odpadní vody vypouští přímo do vodního recipientu (vodní útvar). (Volaufová, 2008).

Směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21.května 1991 o čištění městských odpadních vod předepisuje zajištění čištění odpadních vod ve všech aglomeracích o velikosti nad 2000 ekvivalentních obyvatel do konce roku 2010 (internet 1). Ekvivalentní obyvatel je definován množstvím znečištění od jednoho obyvatele vztažené na 1 den ( $BSK_5$  60g /os/den a NL 55g/os/den) (Pitter, 1998).

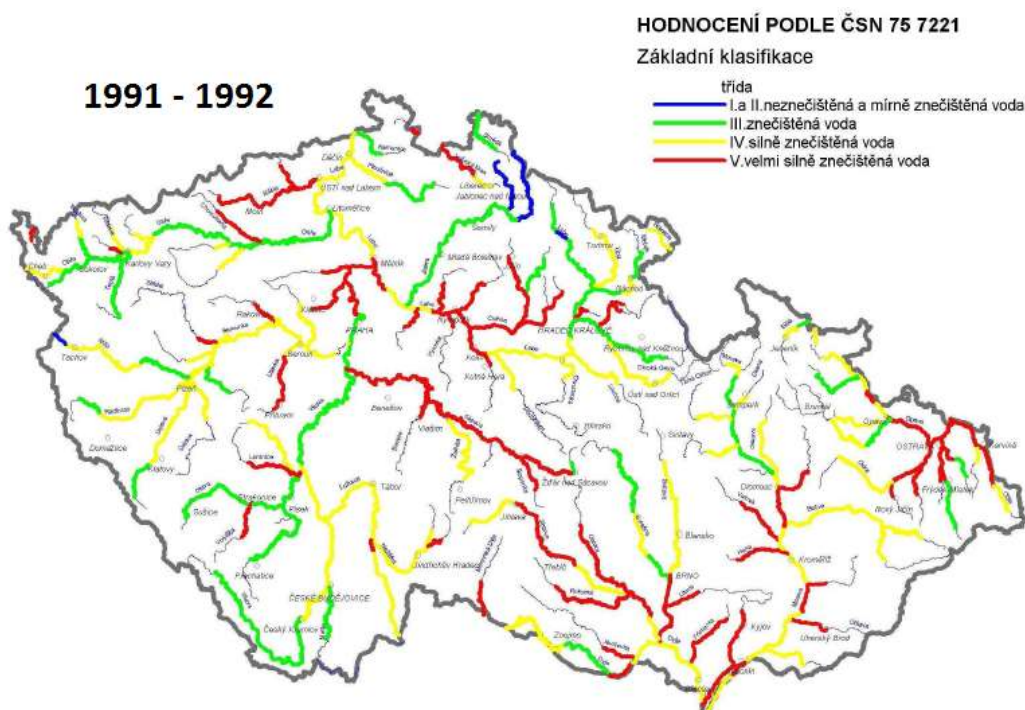
Česká republika nedosahuje západoevropského průměru podílu obyvatel, jejichž odpadní vody jsou čištěny. Ve srovnání s Maďarskem, Polskem a Slovenskem si udržujeme nadprůměrnou úroveň stabilního trendu zvyšování úrovně čištění odpadních vod. Podíl čištěných odpadních vod od roku 1999 stagnuje na úrovni 94–96 %. Celkový počet čistíren se zvýšil od roku 1990 o více jak 200 %. Přesto počet čistíren narůstá příliš pomalu, podle dotazníkového šetření v obcích nad 2 000 EO k září 2007 požadavky splňovalo 282 aglomerací. Nevyhovující ČOV a neodpovídající kanalizace byla zjištěna u 187 obcí. Nevyhovující kanalizace byla zjištěna v dalších 154 případech (Volaufová, 2008).

Na území státu platí povinnost třetího stupně čištění odpadních vod ve všech obcích nad 2000 ekvivalentních obyvatel, přesto u mnohých ČOV třetí stupeň čištění schází a zůstávají bodovým zdrojem znečištění. Díky zařazení biologického odstraňování dusíku (denitrifikace-redukce dusičnanů na elementární dusík a nitrifikace-oxidace amonných látek na dusičnany) a biologického nebo chemického odstraňování fosforu srážením do technologického postupu ČOV poklesl objem makronutrientů, dusíku, fosforu (Cenia, 2010b).

Během období 1990–2007 se znečištění z bodových zdrojů razantně snížilo.  $BSK_5$  pokleslo o 94,7 %,  $CHSK_{Cr}$  o 88 %, NL poklesly o 90 %. Dochází však k nárůstu obtížněji

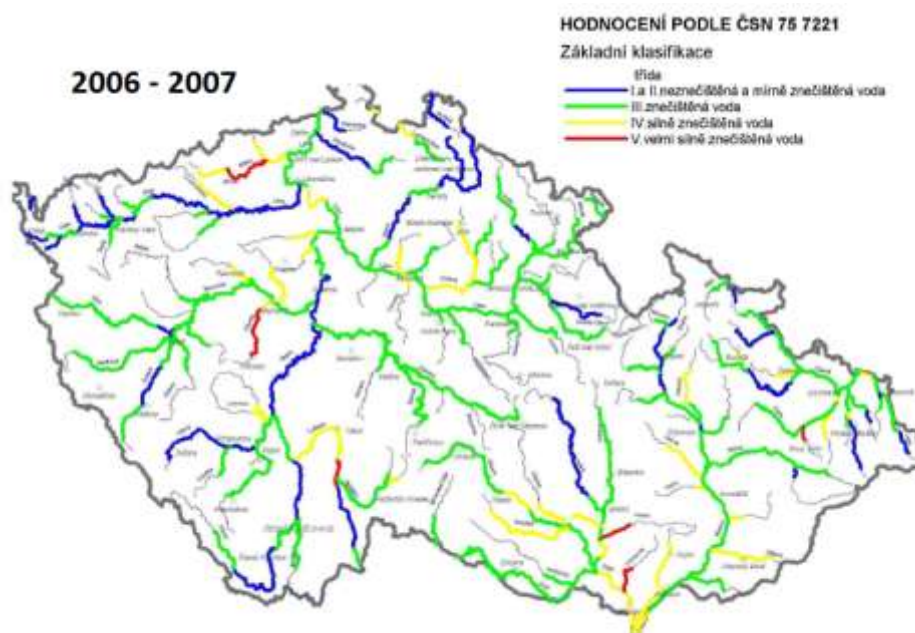
odstranitelných znečišťujících látek, jedná se např. o rozpuštěné anorganické soli (RAS), specifické polutanty či PPCP (Pharmaceutics and Personal Care Products, léků). Přetrvávajícím problémem je znečišťování difuzního a plošného charakteru, zemědělské pozemky a rozptýlená zástavba. Závažné je zatížení fosfáty a anorganickým dusíkem pocházejícími ze zemědělství a domácností (zejména z pracích prášků). Kromě toho je stále aktuální problém eutrofizace stojatých vod. Podle Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka jsou nejzatíženější menší vodní toky s malou vodností, které protékají hustě osídlenými oblastmi nebo oblastmi s velkou zátěží (Volaufová, 2008).

Tekoucí povrchové vody se řadí do 5 tříd podle jakosti pomocí soustavy mezních hodnot charakteristických ukazatelů dle ČSN 75 7221. Ukazatele jakosti vody jsou rozděleny do čtyř skupin na mikrobiologické ukazatele; obecné, fyzikální a chemické; specifické organické látky; kovy a polokovy a radiologické ukazatele. Jakost vody se hodnotí zvlášť pro jednotlivé ukazatele. O výsledné klasifikaci jakosti vody rozhoduje nejnepříznivěji vyhodnocený ukazatel (Pitter, 1998). Většina významných vodních toků se z kategorií IV. a V. třídy, kde se nacházela na počátku 90. let, přesunula během posledních let do třídy I. až III. (obr. 1, obr. 2).



Obr 1. Třídy jakosti vodních toků České republiky v letech 1991-1992

(Cenia, data VÚV T.G.M., v. v. i.)



Obr 2. Třídy jakosti vod vodních toků České republiky v letech 2006-2007

## 5. Charakteristika Litavky a zájmového území

### Hydrologické charakteristiky Litavky a jejího povodí

Litavka je 54,93 km dlouhá říčka pramenící v lesním komplexu centrálních Brd. Povodí Litavky zaujímá plochu 628,75 km<sup>2</sup> v okresech Příbram a Beroun ve Středočeském kraji (Janda a Nekut, 2000). Litavka je tokem IV. řádu, náleží povodí Berounky, Vltavy, Labe a úmoří Severního moře a Atlantského oceánu. Správcem povodí Litavky je státní podnik Povodí Vltavy. Hydrologické pořadí toku je 1-11-04-001 (VÚV, 2010).

Litavka je pravostranným přítokem Berounky, do které ústí v Berouně na jejím 33,96 říčním km v nadmořské výšce 211,94 m. Litavka pramení v Brdské vrchovině mezi jejími nejvyššími vrcholy Tok (865 m n. m.) a Praha (862 m n. m.) v nadmořské výšce 736,66 m. Největším přítokem Litavky je Červený potok měřící ústící do Litavky zleva ve Zdicích (VÚV, 2010).

V povodí se nachází 538 vodních ploch s celkovou rozlohou 225,11 ha. Na 50,95 km Litavka protéká Lázkou nádrží využívaná pro vodárenské účely. Největší z nich jsou vodní nádrže Pílská (20,54 ha) a Láz (15,01 ha) (VÚV, 2010). Hlásné profily jsou umístěny v Čenkově (ř. km 28,80) a Berouně (na ř. km 1,11). V Čenkově činí průměrný roční průtok 0,86 m<sup>3</sup>/s a stoletá voda 114 m<sup>3</sup>/s, v Berouně je průměrný roční průtok 2,57 m<sup>3</sup>/s a stoletá voda 327 m<sup>3</sup>/s. Průměrný roční stav je v Berouně 53 cm, v Čenkově 25 cm (ČHMÚ, 2010). Střední sklon toku 9,94‰ (Novotná, 2000).

Litavka není regulovaná a přirozeně meandruje od pramene až k obci dolní Láz. Pramenný úsek Litavky je zahloubený až na kamenité podloží místy do hloubky jednoho metru (Pehal, 2004). Dolní úsek pramenné části Litavky má charakter asi metr širokého neregulovaného potoka, v období větších průtoků divočí a vytváří místy i půl metru hluboké tůně (Stuchlík et al., 2000). Dno je kamenité, šterkovité až písčité, místy hlinité, v prosvětlených místech je porostlé mechem (Horecký, 2003). Koryto toku je upravené až v intravilánu obce Láz kamennou dlažbou (Novotná, 2000).

Litavka je jeden z nejvíce acidifikací postižených potoků v ČR, vykazuje stabilní pH (4,15 ± 0,15) a extrémně vysoké koncentrace řady toxických kovů (Al, Co, Ni, Cd) při velmi nízkém obsahu rozpuštěných organických a anorganických látek (Horecký, 2003). Oblast byla vzhledem k charakteru zalesnění, horskému klimatu a citlivému podloží významně zasažena vysokými depozicemi oxidů síry a dusíku především v druhé polovině 20. století

(Horecký, 2003). Povodí Litavky je sužováno hned několika problémy jakosti vod. I přes výrazný pokles emisí S a N, zůstává acidifikace povrchových vod nadále závažným problémem (Stuchlík et. al., 2000).

Hydrologický režim Litavky je ovlivněn především urbanizací, průmyslovou a zemědělskou činností, odběrem povrchové a podzemní vody a důlní činností (Novotná, 2000). Klíčovou roli z hlediska jakosti vody v Litavce hraje Příbram jako nejvýznamnější bodový zdroj znečištění. Směrem k ústí se chemické složení zlepšuje díky samočisticím procesům a vlivem ředění přítoky (Duras et al., 2000). Ze zdrojů průmyslových odpadních vod je stále významným zdrojem společnost Kovohutě Příbram a.s., která vypouští těžké kovy (Pb, As, Zn, Cd). Problém snížila výstavba dvou nových ČOV v areálu podniku (Tlapáková et al., 2000). Zalesněný pramenný úsek Litavky je ovlivněn také těžbou dřeva.

### **Geologické, pedologické, vegetační, klimatické a další charakteristiky území**

Litavka protéká Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod Brdy (Novotná, 2000). Oblast je dlouhodobě využívána jako zdroj pitné vody a jako vojenský výcvikový prostor.

Brdy jsou pohoří táhnoucí se v délce více než 70 km jihozápadním směrem od Prahy. Nejvyšším vrcholem je Tok s 865 metry nad mořem. Přestože leží Brdy ve středu naší země, jsou místy, dá se říci, nedotčenou krajinou. Centrální Brdy zřejmě zůstanou v nejbližší budoucnosti z převážné části nadále vojenským výcvikovým prostorem, který zde byl založen roku 1926 a slouží především jako cvičiště se specializovanou dělostřeleckou a leteckou střelnicí. Vojenský újezd Brdy je zvláště vyčleněným územím České republiky pro potřeby obrany státu. Státní správu na území újezdu vykonává újezdní úřad v rozsahu úkolů, které stanoví zákon č. 222/1999 Sb., o zajišťování obrany České republiky. Na celém území Vojenského újezdu Brdy hospodaří státní podnik Vojenské lesy a statky (VLS, s.p.) se sídlem v Hořovicích (MO, 2010).

Právě díky vybudování zdejšího vojenského újezdu se paradoxně podařilo zachovat v relativně neporušeném stavu přírodní ráz krajiny i její geologické objekty. Geologická jedinečnost Brd by si rozhodně zasloužila statut chráněné krajinné oblasti s potřebně upraveným režimem s ohledem na vojenskou činnost. (Chlupáč, 1994).

Povodí Litavky se nachází v oblastech Hořovické pahorkatiny a Brdské vrchoviny, jež náleží do geomorfologického celku Brdské oblasti patřící do Poberounské subprovincie, která spadá do České vysočiny. Hořovická pahorkatina se skládá ze dvou podcelků a pěti

okrsků, podcelek Hořovická Brázda se dělí na okrsky Holoubkovská kotlina, Komárovská brázda, Zdícká brázda, Hostomická kotlina, Řevnická brázda a podcelek Karlštejnská vrchovina. Brdská vrchovina se člení na 3 geomorfologické podcelky (Brdy, Hřebeny a Příbramská pahorkatina) dělící se na 7 okrsků. Brdy se člení na okrsky Třemošenská vrchovina a Strašická vrchovina, které dohromady tvoří Střední (Centrální) Brdy, které slouží jako vojenský prostor, a Třemšínská vrchovina, nazývaná Jižními Brdy. Hřebeny se dělí na Studenskou vrchovinu a Kopaninskou pahorkatinu. Příbramská pahorkatina se potom dělí na Třebskou pahorkatinu a Pičínskou pahorkatinu (Demek et al., 1987).

Brdy mají z hlediska stratigrafické geologie a paleontologie mezinárodní význam. Brdy jsou nejvýše položené části středních Čech. Geologicky náleží k oblasti Barrandienu, komplexu proterozoických (starohorních) a paleozoických (prvohorních) hornin (Chlupáč, 1994). Podloží se skládá především ze souvrství kambrických pískovců, slepenců a křemenců vyzdvižených hercynským (variským) vrásněním v mladších prvohorách (Dejmal, 2000). Na hřebenech se pak vyskytují i ordovické křemence (Ložek, 2000). Kambrium tvoří v geologické minulosti časový úsek přibližně před 570—510 miliony lety. Kambrické uloženiny se v Evropě zachovaly zejména ve Walesu, Skotsku a Skandinávii. Ze všech těchto oblastí jsou kambrické usazené horniny známé jako mořské uloženiny. Významná část brdských kambrických sedimentů je však sladkovodního původu (Chlupáč, 1994).

Kambrium je v Brdech zastoupeno hlavně v podobě bělavých nebo šedých křemenných pískovců a křemenných slepenců. Během kadomského vrásnění, které zasáhlo část Afriky a Evropy na přelomu starohor a prvohor, se mezi vyvrásněnými horskými pásmy v oblasti Brd vytvořila rozsáhlá deprese, jejíž dochovaným pozůstatkem je příbramsko-jinecká pánev. Během spodního kambria se do pánve snášel štěrk, písek a později žilné křemence, ze kterých vznikly akumulací a stmelením téměř 4000 m mocné uloženiny slepenců a pískovců, které tvoří hlavní horniny skalního podkladu centrálních Brd (Chlupáč, 1994; Fatka a Marek, 2000).

Průkazně proniklo prvohorní moře do oblasti dnešních Brd počátkem středního kambria, kdy se zde počaly usazovat v rámci mocných uloženin slepenců a pískovců velmi jemné převážně šedé a šedozelené písčité břidlice jineckého souvrství, světoznámé svými bohatými nálezy zkamenělin, zejména trilobitů (Chlupáč, 1994).

Právě tyto břidlice patří k největším paleontologickým pozoruhodnostem Brd, neboť uchovávají zbytky vůbec nejstarších živočichů z území naší republiky, byly v nich nalezeny části i téměř úplné krunýře členovců s hlavním a poměrně hojným druhem *Kodymirus vagans*, který byl právě odtud poprvé popsán r. 1965. Tento členovec je naší nejstarší zkamenělinou živočišného původu. V dnešním stupni poznání je fauna brdských břidlic vůbec nejstarší známou zvířenou prostředí, které není ryze mořské (Chlupáč, 1994).

Sedimentace kambria na dně sedimentačního prostoru byla doprovázena slabým porfyrovým vulkanismem. Jsou známé tenké vrstvy porfyrových tufů v podloží jineckých vrstev i mocnější vložky běložlutých porfyrových tufů ve vlastních Brdech. Brdské kambrium se v úseku Láz a Hoděmýšl stýká s Příbramskou synklinálou, kde převládají šedozelené arkózy a arkózové slepence. V prostoru mezi Bohutínem a Příbramí je vložena proterozoická (starohorní) tektonická kra. Jinecké vrstvy, ve kterých jsou uloženy paradoxidové břidlice a droby, jsou jediným českým kambrickým souvrstvím obsahujícím faunu (Čepek et al., 1961).

Kambrium je proraženo Bohutínským křemeným dioritem (Čepek et al., 1961). Na kontaktu těchto magmatitů původem středočeského plutonu s proterozoikem vznikly s pohořím souběžné pásy zrudnění. Rudný pás v linii Láz, Březové hory, Trhové Dušníky obsahuje převážně polymetalické rudy s převahou rud kovových, hlavně mědi a stříbra. Druhé rudné pásmo v linii Kamenná, Bytíz a Daleké Dušníky vytváří uranové ložisko (Dejmal, 2000).

Půdy pramenné oblasti tvoří chudé, silně kyselé kambizemě, místy se stopami oglejení, jejich objemová hmotnost stoupá s hloubkou díky procesu zhutnění (Pehal, 2004).

Brdy mají průměrnou roční teplotu 6 °C a úhrn srážek se pohybuje v mezi 850 až 1000 mm. Vrcholové části Brd jsou klimaticky charakterizovány jako chladné oblasti, v průběhu toku přechází přes mírně teplé oblasti až do oblasti teplé na soutoku s Berouňkou (Quitt, 1971). Celý brdský masiv je ve slabém srážkovém stínu západních hraničních pohoří a samo pohoří směrem na východ vytváří srážkový stín (Dejmal, 2000).

Brdská vrchovina představuje jeden z největších zalesněných komplexů v České republice. Původní bukové lesy s příměsí jedle byly postupně během 19. a 20. století nahrazeny smrčínami. Současná vegetace dominuje na 90% povodí smrk ztepilý (*Picea abies*), ojediněle se v horní části povodí vyskytuje buk (*Fagus sp.*), dub (*Quercus sp.*) a líska (*Corylus*

sp.) (Hardekopf et al., 2007). Třemošenská a Třemšínská vrchovina jsou z hlediska fyto geografie jedinými oblastmi horské květeny (oreofytika) ve středních Čechách. Strašická vrchovina i ostatní části Brdské vrchoviny (Hřebeny a Příbramská pahorkatina) jsou již v oblasti mezofytika (květena mírně teplé oblasti) (Novotná, 2000). Podél celého toku jsou zastoupeny vzácné a chráněné druhy, prstnatec májový (*Dactylorhiza majalis*), úpolín evropský (*Trillium europaeus*), hadí mor nízký (*Scorzonera humilis*) a vzácně také kosatec sibiřský (*Iris sibirica*) (Dejmal, 2000).

Díky geografické poloze, geomorfologii a vegetaci je údolí Litavky přirozenou migrační trasou, jednotlivé úseky jsou vymezené jako lokální a regionální biokoridory ÚSES. Kromě toho jsou všechny cenné lokality v údolí zahrnuty do ploch lokálních biocenter, nejdelší úsek meandrujícího toku mezi Trhovými Dušníky a Bratkovovicemi je regionálním biocentrem (Dejmal, 2000).

V území bylo vyhlášeno několik Evropsky významných lokalit zajímavých z botanického hlediska: Hrachoviště, Felbabka, Octárna, Ledný potok, Ohrazenický potok, Padrt'ský potok, Mešenský potok, Padrt'ské rybníky. Přírodní zajímavostí jsou paleontologické lokality Kočka, Jindřichova skála, slatě a rašeliniště Hřebeny, Kolvínské louky a botanicky významné lokality Klobouček, Koníček, Vystřkov (MO, 2010).



## 6. Výzkum v oblasti

V rámci Výzkumu kvality vodní složky přírodního prostředí povodí Berounky na Katedře fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy byla zpracována studie Kvalita povrchových vod v povodí Litavky. Jejím cílem bylo zhodnocení vývoje a stavu jakosti vody v povodí od roku 1974 do roku 1998. Zlom ve vývoji ukazatelů organického znečištění představovala výstavba ČOV v Příbrami. Přesto byla Příbram identifikována jako jednoznačně největší bodový zdroj znečištění Litavky téměř ve všech ukazatelích (Kaiml, 2000). Městská část Březové Hory v Příbrami dokonce stále vypouští odpadní vody bez čištění přímo do recipientu (Tlapáková et al., 2000). Do budoucna je nezbytná modernizace příbramské ČOV na IV. stupňové čištění odpadních vod. Dle výsledků studie kvalita vody v Litavce nijak výrazně nevybočuje z celorepublikového průměru (Kaiml, 2000). Průměrných celorepublikových hodnot dosahuje i celková roční mokrá depozice síry a dusíku z volné plochy (Pehal, 2004).

V rámci výzkumu oddělení Hydrobiologie Katedry ekologie se věnoval Pehal v průběhu kalendářního roku 2001 zalesněnému povodí pramenné části řeky Litavky o ploše 1,85 km<sup>2</sup>. Pehal sledoval bilanci a koloběh vody v povodí, množství a chemické složení a množství vstupů a výstupů povodí. Pehal měřil atmosférickou depozici jak z volné plochy (bulk), tak i depozici podkorunovou (throughfall). Na výstupu z povodí, Thomsonově uzávěrovém přelivu, sledoval průtoky a odebíral zorky pro chemickou analýzu. Navíc byl proveden pedologický průzkum povodí ve třech vyhloubených stratifikovaných půdních sondách. Z depozice jednotlivých iontů a jejich množství opouštějícího povodí stanovil hydrologickou bilanci a bilanci látek (Pehal, 2004). Studie byla využita k předpovědi chování ekosystému zotavujícího se z acidifikace. K objasnění těchto vztahů byl vybrán geochemický model MAGIC (Pehal, 2004).

Bilance látek v povodí ukázala, že dochází k zadržování vodíkových kationtů, amonných, dusičnanových a dusitanových a naopak k uvolňování bazických kationtů, síranů, fluoridů a chloridů, společně s mohutným výrazným uvolňováním hliníku. Na podkladě leukokrátů žuly dominuje uvolňování vodíkových iontů společně s masivním vyplavováním síranů. Stejně tak jsou vyplavovány bazické kationty, zatímco dusičnan je v povodí zadržován. Litavce nebyla prokázána výraznější závislost koncentrací hliníku na hodnotách pH (Pehal, 2004).

Stavební fakulta, ČVUT a švýcarský Institut pro přírodní vědy a techniku, EAWAG, vytvořily v roce 1995 projekt zabývající se využitím vodních zdrojů v souladu s principem trvale udržitelného rozvoje (Koudelák et al. 2000). Pilotní studie byla realizována právě v povodí Litavky. Lokalita je jednou z nejvíce znečištěných oblastí těžkými kovy v České republice. Jako zdroj kontaminace sedimentů Litavky byly identifikovány nerozpuštěné látky pocházející z urbanizovaného povodí města Příbrami. Pod soutokem Litavky s potokem Příbramským byly zjištěny v podložních sedimentech extrémně vysoké koncentrace těžkých kovů (Koudelák et al. 2000). Povrchové vody i sedimenty Litavky jsou mimořádně znečištěny olovem, kadmíem a zinkem. Mezi bezproblémové kovy lze zařadit chrom, nikl a v posledních letech se zlepšila situace mědi a rtuť. Pod soutokem Litavky s Příbramským potokem zatížení sedimentu překračuje limitní hodnoty až stonásobně (Kučera, 2004). K zanášení Příbramského potoka dochází především v období sucha, větší přísun srážek pak koryto vyplachuje a dochází k jeho odnosu do Litavky (Koudelák et al. 2000). Zdrojem znečištění Příbramského potoka je nevhodná kanalizace a ČOV Příbram. Bezprostředně pod Příbramí dosahuje kvalita vody podle ukazatele organické znečištění BSK<sub>5</sub> podle V. jakostní třídy. Postupně se směrem k ústí v Berouně Litavka zotavuje na III. třídu (Kaiml, 2000).

Povodí Litavky bylo zvoleno pilotním územím také v projektu studie regionální strategie hospodaření s vodou v České republice. V rámci studie byl navržen systém pro podporu rozhodování k modelování předdefinovaných scénářů dalšího vývoje a jeho ekonomickým a technickým dopadům na národní úrovni. Relevantní údaje potřebné pro aplikace různých modelů a pro hodnocení definovaných scénářů byly zařazeny do databáze kombinující GIS a databázové výstupy. Model kvality vody v toku Litavky umožnil studium zatížení kvalitu vody bodovými zdroji znečištění. Jako zdroj kontaminovaných sedimentů v řece Litavky byly opět identifikovány nerozpuštěné látky pocházející z urbanizovaných povodí města Příbram (Krejčík, 1999).

Příbramský potok protéká územím s rozsáhlou důlní činností (uranové a rudné doly). Zdrojem těžkých kovů jsou zde důlní vody a splachy z výsypek vytěženého materiálu, které jsou do toku odváděny. (Duras et al., 2000). Vzhledem k podélnému profilu toku, morfologii a nízké rychlosti proudění dochází k zanášení a dlouhodobé kontaminaci dnových sedimentů Litavky. V následující tabulce autoři srovnávají obsah těžkých kovů v sedimentech litavky se dvěma pražskými potoky. Dále jsou uvedeny legislativní limity pro obytné zóny (Koudelák et al.).

Tab. 1 Kvalita dnových sedimentů ve vybraných lokalitách v České republice (Koudelák et al.).

<b>Koncentrace těžkých kovů v sedimentech dna (mg/kg)</b>				
<b>Profil - Lokalita</b>	<b>Zn</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>
<b>Litavka - Příbram</b>	8400	190	90	50
<b>Botič - Praha</b>	530	107	0,8	52
<b>Šárecký potok - Praha</b>	217	60	0,8	45
<b>Limity pro obytné zóny</b>	2500	300	20	500

Situace, kdy je tok nižšího řádu znečišťován přítokem vyššího řádu, jako v příkladě Litavky a Příbramského potoka, je obecným jevem a vyskytuje se na mnohých dalších lokalitách (Krejčík, 1999). Uvolňováním těžkých kovů ze sedimentu Litavky během erozní činnosti bylo studováno také ve studii Uvolňování těžkých kovů z vysoce znečištěného povodí během povodňových událostí (Žák, 2009).

Sledováním druhové rozmanitosti bezobratlých, zejména hmyzu, v podmínkách acidifikovaného toku se zabývala pilotní studie vybraných potoků v Brdech (Horecký et al., 2002). Horecký se ve své doktorandské dizertační práci zabývá výzkumem chemizmu vody a struktury makrozoobentosu silně acidifikovaných horských potoků. Chemismus Litavky a dalších vodních toků ležících na geologickém podloží chudém na vápník nebo tvořeném obtížně zvětratelnými horninami (žuly, svory, křemence) byl významně ovlivněn acidifikací. V postižených tocích došlo především k výraznému poklesu pH, nárůstu koncentrací dusičnanů, síranů, těžkých kovů a hliníku. A v souvislosti se změnou v chemii vody až k vymizení původních druhů vodních organismů (Stuchlík et al., 2000). Cílem práce bylo zjistit, jak acidifikace ovlivnila strukturu společenstva makrozoobentosu v relativně úzkém rozmezí pH (Horecký et al., 2006). Jedním z potoků byla také Litavka, na které panují extrémní hydrologické podmínky, povodně i úplná vyschnutí koryta. Terénní výzkum se odehrál v letech 1997 – 2001. Vybrané lokality acidifikovaných potoků ČR autor srovnává vzájemně mezi sebou a porovnává s lokalitou na Litavce (Horecký, 2003).

Pramenná část Litavky, která je permanentně silně acidifikovaným tokem (pH ~ 4,1), byla vybrána na základě zkušeností získaných při pilotní studii, ve které bylo zkoumáno osm brdských lokalit se srovnatelným vegetačním pokryvem ale různou velikostí toku,

nadmořskou výškou a pH vody na brdských potocích: Voldušský, Červený, Mourový, Reserva, Třítrubecký, Kotelský, Smolivecký a Litavka (Horecký, 2003).

Horecký zvolil 10 lokalit v pramenných vrcholových partiích horských oblastí ČR, kritériem výběru lokality byla trvale nízká hodnota  $\text{pH} < 4,6$ , hodnota specifické vodivosti  $< 100 \mu\text{Scm}^{-1}$ , nízký podíl humínových látek, celkový organický uhlík (TOC)  $< 10 \text{mg l}^{-1}$  a minimální vliv člověka v povodí (Horecký et al., 2006).

Jednalo se o dvě lokality v Brdech, Reserva a Litavka, na Šumavě o hlavní přítoky Černého a Čertova jezera, v Krušných horách lokalitu na Limnici, v Jizerských horách Jeřici, v Krkonoších Bílý potok, v Orlických horách Zdobnici, na Králickém Sněžníku jeden z levostranných přítoků Moravy - Poniklec a v Jeseníkách Hučavu (Horecký, 2003).

Pramenný úsek Litavky je permanentně silně acidifikovaný, kromě období sucha nedochází k výraznějším výkyvům pH, protože dalšímu snížení pH již brání pufrací systém hliníku. Lokality na Litavce se ukázaly díky občasnému vysychání toku a i přes existenci povodňových stavů jako nejméně vodnaté. Lokality v Brdech vyšly jako nejkyselějšími (průměrné pH 4,02 a 4,15) i v Horeckého výzkumu, následoval přítok Čertova jezera (průměrné pH 4,24). K prudkému poklesu pH v neacidifikovaných nebo mírně acidifikovaných povrchových vodách většinou dochází za zvýšených průtoků v době jarního tání sněhu nebo během přívalemých dešťů. Na Litavce se zvýšila hodnota pH pouze v důsledku delší doby zdržení vody v povodí v období extrémně nízkých průtoků ( $< 1 \text{ l s}^{-1}$ ) (Horecký, 2003).

U Brdských potoků byla zaznamenána nejvyšší specifická vodivost, pohybovala se kolem  $90 \mu\text{Scm}^{-1}$ , na zbylých lokalitách bylo většinou naměřeno pouze 30 -  $70 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Specifická vodivost je v takto kyselých vodách výrazně ovlivněna vysokými koncentracemi vodíkových iontů (aciditou). Na iontové bilanci se na Litavce podílely i hliníkové kationty (Horecký, 2003).

Na Litavce byly také zjištěny nejvyšší koncentrace síranů, přesahovaly  $400 \mu\text{eq l}^{-1}$  ( $19 \text{ mg l}^{-1}$ ), a také nejvyšší koncentrace chloridů, v rozmezí 30 -  $47 \mu\text{eq l}^{-1}$  (1 až  $1,6 \text{ mg l}^{-1}$ ). Odtok síranu z povodí v Brdech je výrazně vyšší než jeho depozice, protože dochází k jejich uvolňování z půdního horizontu, kde se kumulovaly během období zvýšené depozice. Koncentrace dusičnanů byly nejnižší v lokalitách s nejvyššími hodnotami síranů, v Brdech

nepřesahovaly  $20 \mu\text{eq l}^{-1}$  ( $1,2 \text{ mg l}^{-1}$ ). V Brdech na Reservě byly naměřeny i jedny z nejvyšších koncentrací vápníku,  $174 \mu\text{eq l}^{-1}$  ( $3,5 \text{ mg l}^{-1}$ ) i hořečnatých iontů,  $80 - 100 \mu\text{eq l}^{-1}$  ( $0,9$  až  $1,2 \text{ mg l}^{-1}$ ). Koncentrace amonných iontů často ani nedosahovaly detekčního limitu, jen výjimečně se blížily  $5 \mu\text{eq l}^{-1}$  ( $0,09 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Horecký, 2003).

Horecký uvádí hodnoty v  $\mu\text{eq l}^{-1}$ , proto byly hodnoty přepočteny podle převodních vztahů uvedených v jeho disertační práci.

Na Litavce byly zaznamenány nejvyšší koncentrace většiny těžkých kovů a reaktivního hliníku (Horecký et al., 2006). Za zvýšené koncentrace reaktivního hliníku je zodpovědná také vysoká koncentrace síranů (Hardekopf et al., 2007). Šobra ve své diplomové práci Aplikace GIS při modelovém hodnocení kvality vody v povodí Berounky označil Trhové Dušníky na Litavce jako vůbec nejznečištěnější profil těžkými kovy ze všech zkoumaných profilů na Berounce (Šobra, 2004). V následující tabulce uvádím srovnání měření koncentrace těžkých kovů v toku podle Horeckého a Pehala.

Tab. 2 Vývoj koncentrací těžkých kovů a hliníku na Litavce podle Horeckého (2003) za období 1999 - 2000 a podle Pehala (2004) průměrné roční koncentrace za rok 2001.

Koncentrace těžkých kovů na Litavce				
Horecký		Pehal	Pehal	
<b>Co</b>	$20 \mu\text{g l}^{-1}$	$16,8 \mu\text{g l}^{-1}$	<b>Fe</b>	$185,7 \mu\text{g l}^{-1}$
<b>Ni</b>	$7 \mu\text{g l}^{-1}$	$6,01 \mu\text{g l}^{-1}$	<b>As</b>	$0,56 \mu\text{g l}^{-1}$
<b>Mn</b>	$414 \mu\text{g l}^{-1}$	$403,6 \mu\text{g l}^{-1}$	<b>Cu</b>	$1,16 \mu\text{g l}^{-1}$
<b>Pb</b>	$3,0 \mu\text{g l}^{-1}$	$2,86 \mu\text{g l}^{-1}$	<b>Cr</b>	$1,01 \mu\text{g l}^{-1}$
<b>Zn</b>	$60 \mu\text{g l}^{-1}$	$48,53 \mu\text{g l}^{-1}$		
<b>Cd</b>	$> 1,3 \mu\text{g l}^{-1}$	$1,06 \mu\text{g l}^{-1}$		
<b>Al r.</b>	$1875 \mu\text{g l}^{-1}$	$2513,1 \mu\text{g l}^{-1}$		

Ve struktuře makrozoobentosu silně acidifikovaných potoků se odráží také účinky kyselé atmosférické depozice zesílené kyselým podložím, smrkovými monokulturami, které zesilují samotnou atmosférickou depozici, a zvýšenou koncentrací toxických kovů a nízkým obsahem huminových látek (Horecký et al., 2006).

Klíčovým faktorem ovlivňujícím strukturu studovaného společenstva se ukázalo být (i přes snahu o minimalizaci rozdílů pH při výběru lokalit) pH. Z výsledků vyplynulo, že i v tak úzkém rozmezí pH (4,0 - 4,6) je počet taxonů primárně ovlivněn právě nízkou hodnotou pH a souvisejícími koncentracemi hliníku a těžkých kovů (Horecký et al., 2006).

Brdy a Jeseníky se projeví jako druhově nejchudší lokality, bylo zde identifikováno 17 - 20 taxonů. Chronicky nízké pH vody má za následek absenci citlivých taxonomických skupin, jako jsou měkkýši, jepice a korýši, citlivé druhy pošvatek (Hardekopf et al., 2007).

Ve všech sledovaných lokalitách se acidifikovaný charakter toku projevil podobnou strukturou makrozoobentosu jako na Litavce. Acidifikace ve sledovaných lokalitách ovlivnila především počet druhů a složení funkčních skupin makrozoobentosu. Početnost a relativní zastoupení souvisí spíše s potravní nabídkou (Horecký, 2003).

Hodnoty pH ani počet druhů nejsou pouze důsledkem kyselé atmosférické depozice, odrážejí i specifické vlastnosti povodí jako geologický charakter podloží, charakter proudění a substrátu, vzdálenost od pramene a zalesnění povodí (Horecký, 2003).

Horní tok Litavky se v prvních 2 km stéká ze dvou větví. Tato pramenná oblast byla zkoumána v rámci studie RNDr. Hardekopfa et al. Předvídaní dlouhodobé obnovy silně okyseleného toku pomocí klimatických modelů a modelu MAGIC (Hardekopf et al., 2007).

Potoky označované jako Litavka-krmelec a Litavka hlavní, oddělené pouze nízkým hřebenem, mají podobné vlastnosti povodí, leží na shodné půdě i podloží, mají srovnatelný vegetační pokryv a byly vystaveny prakticky totožné historické depozici. Přesto je Litavka-krmelec silně acidifikovaná s pH kolem 4,1 a vysokou úrovní reaktivního hliníku, Litavka hlavní je pouze mírně kyselá s průměrnou hodnotu pH 5,6 a nízkou koncentrací reaktivního hliníku (Hardekopf et al., 2007). Potoky se liší pouze hydraulickým režimem. Průtok na Litavce hlavní je podobný, ale díky vydatnému zdroji podzemní vody má mnohem nižší sezónní výkyvy. Litavka-krmelec je zásobována pouze srážkovou vodou z povodí a vykazuje velmi nevyrovnaný průtok (Stuchlík et al., 2000), který kolísá v průběhu roku v závislosti na množství srážek a sněhové pokrývce, výjimečné není naprosté vyschnutí koryta ani extrémní povodně s průtokem nad 1200 l s<sup>-1</sup> (Hardekopf et al., 2007).

Model MAGIC byl aplikován na povodí Litavky-krmelec k rekonstrukci historického vývoje chemismu půdy a toku a pro předpověď budoucího vývoje toku a jeho ekosystému za předpokladu zachování imisních trendů. Model odvozuje klimatický scénář až do roku

2100. Klimatický model nepředpovídá žádné významné změny v množství srážek za období 2071-2100 ve srovnání s obdobím 1970-1990. Do modelu byl zakomponován odhad nárůstu teploty o 4°C. S růstem teploty se z podloží vyplavuje více  $\text{NO}_3^-$ , teplota ovlivňuje také proměnlivost srážek a variabilitu odtoku. Zvětrávání základních kationtů bylo odhadnuto na zvýšení o 5% na každý 1°C vzrůstu teploty. Maximální hranice odhadu pH v roce 2100 je 4,38, která vyplývá ze zesíleného zvětrávání, minimální očekávané pH by mělo mít hodnotu 4,33. Modelování naznačuje jen velmi pomalé postupné oživení silně acidofilní Litavky-krmelec. I když emise a spjatá atmosférická depozice síranů byla podstatně snížena, účinky silné historické depozice se budou po celá další desetiletí nadále projevovat jako výluhy z půdy. Vliv zvýšené teploty na chemii povodí v důsledku změny klimatu bude mít jen nepatrný dopad, s největší pravděpodobností bude zastíněn právě pokračujícím uvolňováním síranů z půdy (Hardekopf et al., 2007).

## **Praktická část**

### **7. Projekt GIS**

Celá práce v GIS byla prováděna v souboru počítačových programů ArcGIS 9, verze 9.3 společnosti ESRI 2008. Většina práce byla vytvářena v ArcMap a jeho 3D Analyst a Spatial Analyst, 3D model byl vytvořen v prostředí ArcScene. K organizaci a tvorbě datových vrstev byl využit ArcCatalog.

#### **7.1. Mapové podklady**

##### **7.1.1. ZABAGED**

Kvůli omezenému počtu mapových listů, které bylo možné získat z projektu ZABAGED ČÚZK, bylo povodí Litavky zredukováno. Zájmové území zaujímá plochu 149,5 km<sup>2</sup>, délka toku Litavky ve vybraném území je 24 km.

#### **Polohopis a výškopis**

Mapové podklady zájmového území byly získány zdarma z ČÚZK. Konkrétní formou poskytnutých map byly soubory formátu shapefile. Obdržená data se skládala z výškopisu a polohopisu sedmi mapových listů. Po načtení dat do projektu GIS bylo nutné je sloučit. K tomuto účelu posloužil v ArcMap nástroj Geoprocessing Wizard. Výsledkem byl jeden shapefile výškopisu a druhý pro polohopis. Získaná data obsahovala již retifikovaná vektorová data bodového, liniového i polygonového charakteru. Výškopis byl zpracován formou vrstevnic, polohopis prostřednictvím bodů, linií a polygonů.

#### **Ortografické podklady**

Součástí dat obdržených v ČÚZK byla i již retifikovaná ortofota - kvalitní barevné letecké snímky, které se staly základem další práce v GIS.

##### **7.1.2. Letecké snímky NIKM**

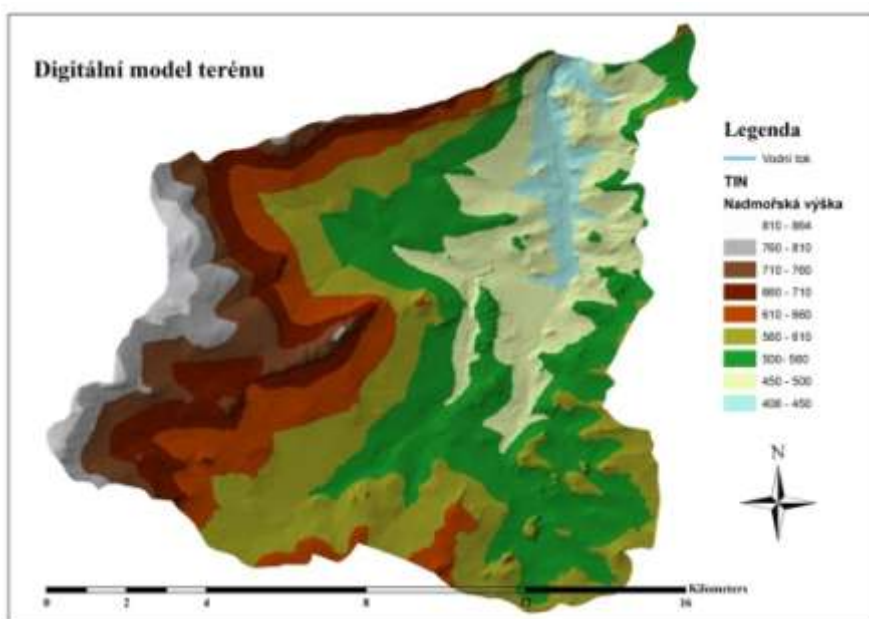
Z projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst byly prostřednictvím webové aplikace kontaminace.cenia.cz získány současné a především historické letecké snímky území obce Láz. Historické letecké měřičské snímky (LMS) zájmového území bylo zhotoveny v letech 1952- 1953, současné v roce 2008.



## 7.2. Projekt ArcMap

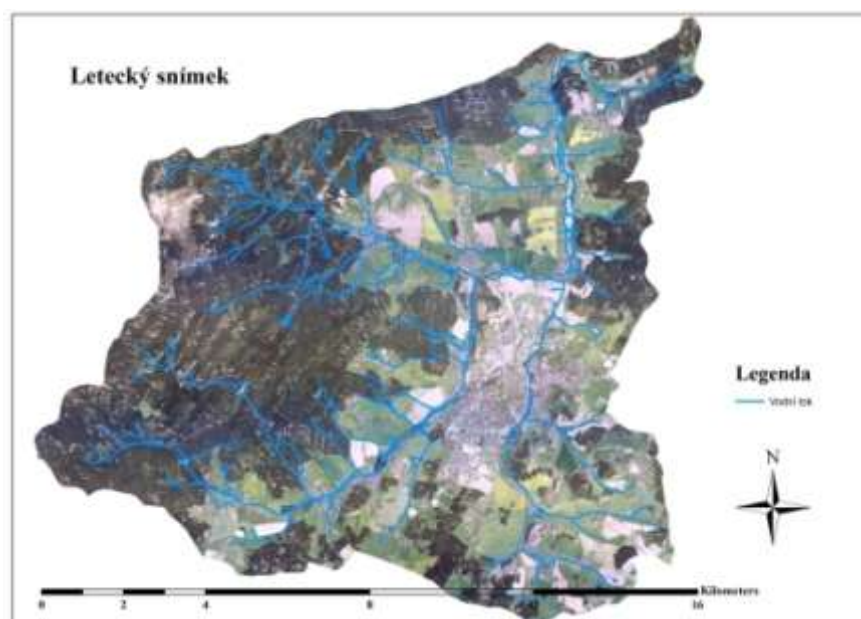
### 7.2.1. Digitální model terénu

Z nejhustších vrstevnic výškopisu byl vytvořen DTM (Obr. 3). Digitální model je tvořen TIN, jeho přesnost závisí na kvalitě zdrojových dat, v tomto projektu na hustotě vrstevnic. TIN byl vytvořen v ArcMap nástrojem Create TIN From Features v 3D Analyst (Booth, 2000). Prostřednictvím Import data jsem do DTM přidala vrstvu vodních toků a vrstvu zaměření geografické polohy odběrových profilů. Pro zvýraznění poměru v terénu bylo upraveno relativní převýšení terénu, tzv. faktor Z na hodnotu 3 (výškové převýšení v porovnání se vzdálenostmi v osách X a Y v poměru 3:1). Mapový výstup DTM a další vrstvy byly exportovány z ArcMap ve formátu jpg. Z režimu Data View byl projekt přepnut na Layout View. K obrázkům byla vytvořena legenda, měřítko, azimut a titulek nástroji Legend, Scale Bar, North Arrow Selector and Title.



Obr. 3 Digitální model terénu (TIN) (výškopis ZABAGED)

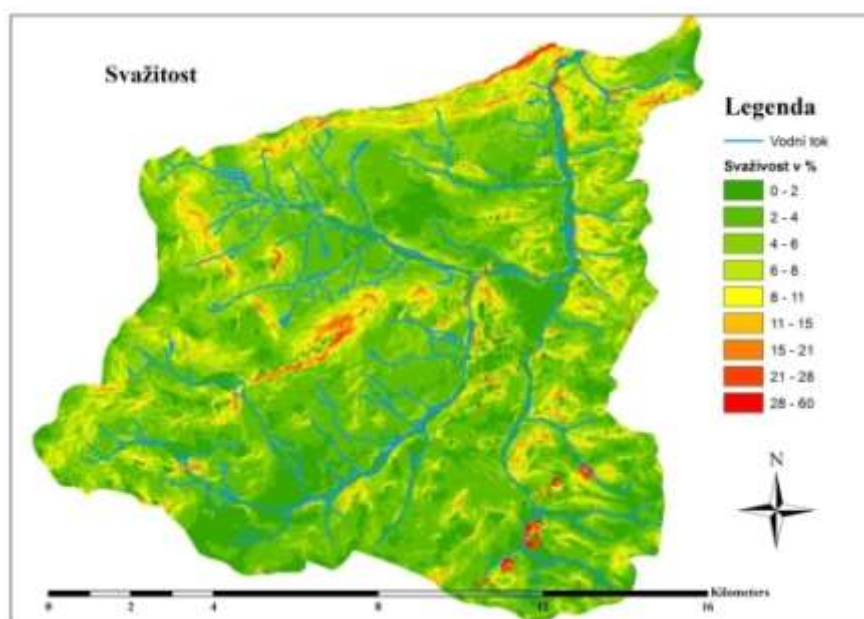
Jako další vrstva byly do ArcMap importovány letecké ortofoto snímky ze ZABAGED (Obr. 4).



Obr. 4 Letecký snímek na vrstvě digitálního modelu terénu (ortofoto ČZÚK)

### 7.2.2. Svažitost zájmového území

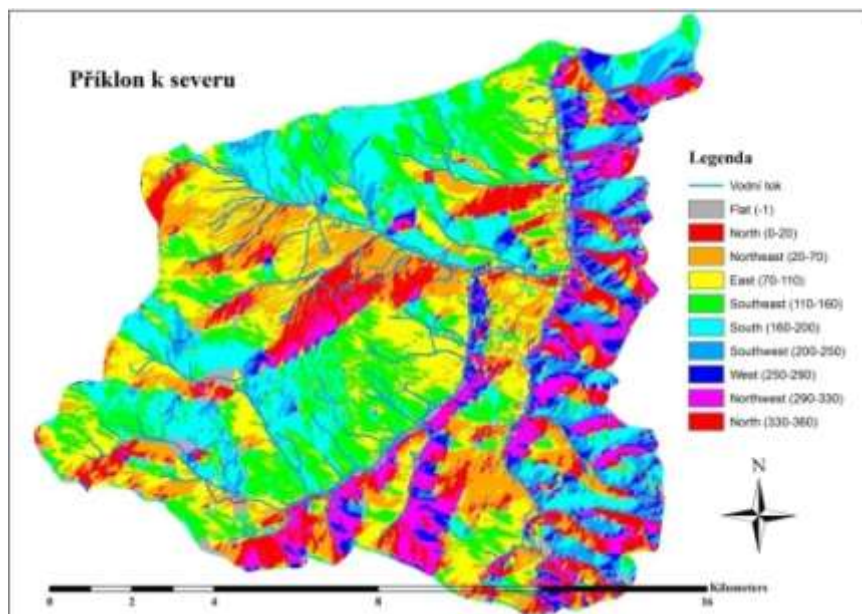
Pomocí příkazu Slope zařazeném v Surface Analysis v 3D Analyst byl na podkladu TIN vygenerován rastr svažitosti zájmového území (Obr. 5) o velikost základní buňky rastru 10 m, mozaika rastru je tedy tvořena buňkami o ploše 100 m<sup>2</sup> (Booth, 2000).



Obr. 5 Svažitost zájmového území v % (mapové podklady ZABAGED)

### 7.2.3. Příklon zájmového území k severu

Stejným principem jako svažitost byla vytvořena vrstva příklonu k severu (Obr. 6). Tento úkon umožňuje příkaz Aspect ze skupiny Surface Analysis v 3D Analyst (Booth, 2000).

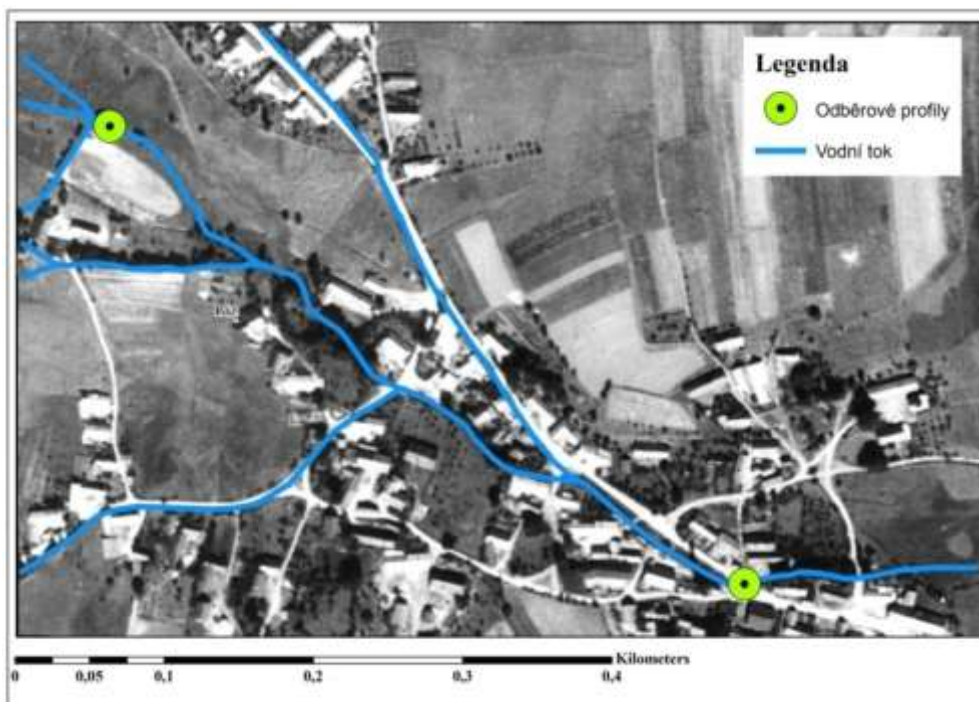


Obr 6. Příklon zájmového území k severu (mapové podklady ZABAGED)

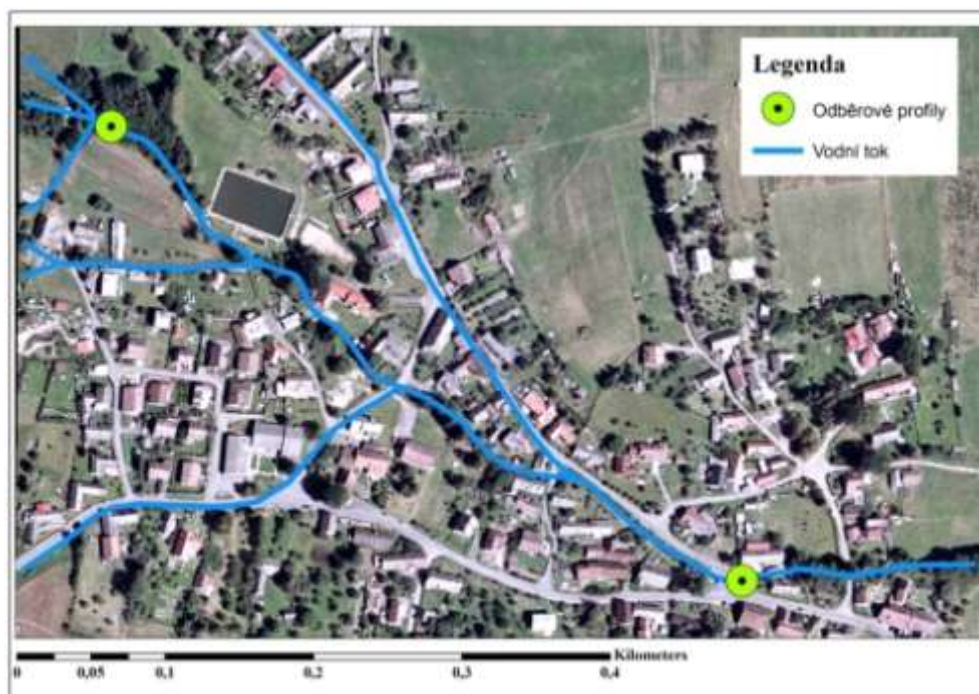
### 7.2.4. Historické a současné letecké měřičské snímky

Do projektu ArcMap byly přidány také vrstvy dat získaných z Cenie. Snímky nejprve vyžadovaly georektifikaci, kterou umožňuje extenze Georeferencing v ArcMap. Georektifikace spočívá v přiřazování známé zdrojové lokace lokaci cílové. Bodům nové vrstvy se přiřazují body o známých souřadnicích podkladové vrstvy. Jedná se nejméně o 3 dvojice bodů. Poté se prostřednictvím příkazu Rectify provede vlastní proces transformace. K oběma snímkům byly připojeny vrstvy vodního toku a odběrových profilů.





Obr. 7 Historická ortofotomapa  
 (Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o., podkladové  
 letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009)



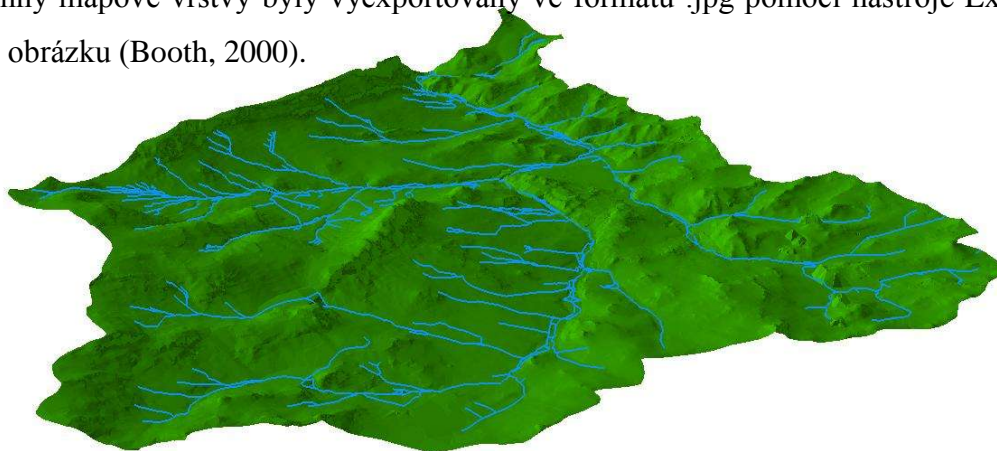
Obr. 8 Aktuální ortofotomapa (© CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.)

### 7.3. Projekt ArcScene

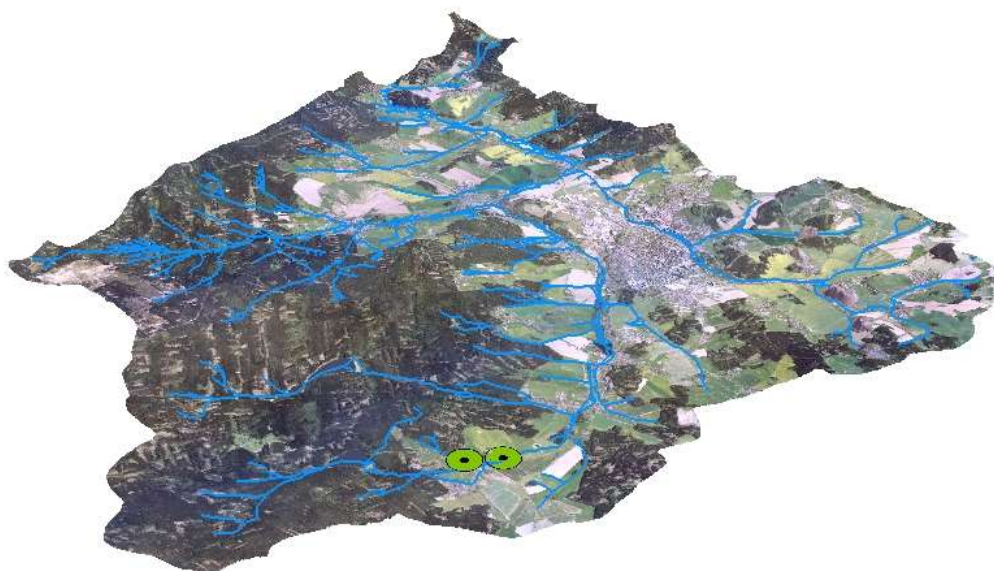
Podklad práce v ArcScene tvoří TIN. ArcScene umožňuje projekci jakýchkoli prvků projektu ArcGIS na TIN. Tedy ortofota, polygonové, liniové i bodové vrstvy i jakékoli rastrové vrstvy. TIN slouží jako zdroj výškových souřadnic pro každý bod v prostoru.

Do projektu ArcScene byly vloženy vrstvy TIN (Obr. 9), ortofota (Obr. 10), vrstva vodních toků, odběrových profilů a také snímky získané z NIKM (Obr. 11, Obr. 12). U digitálního modelu terénu bylo zvoleno relativní převýšení 3:1, u historického a současného snímku obce Láz bylo pro zvýraznění poměrů v terénu zvoleno převýšení 5:1.

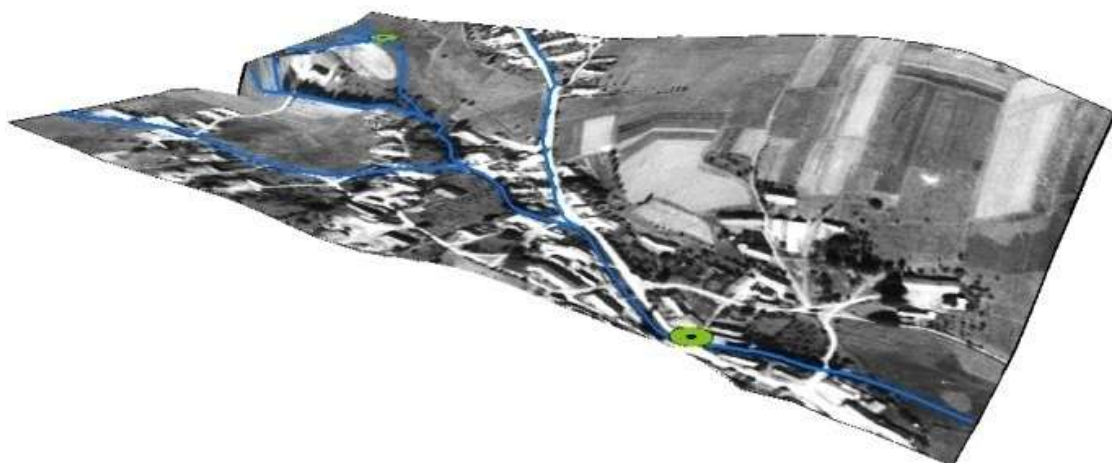
Všechny mapové vrstvy byly vyexportovány ve formátu .jpg pomocí nástroje Export scene do 2D obrázku (Booth, 2000).



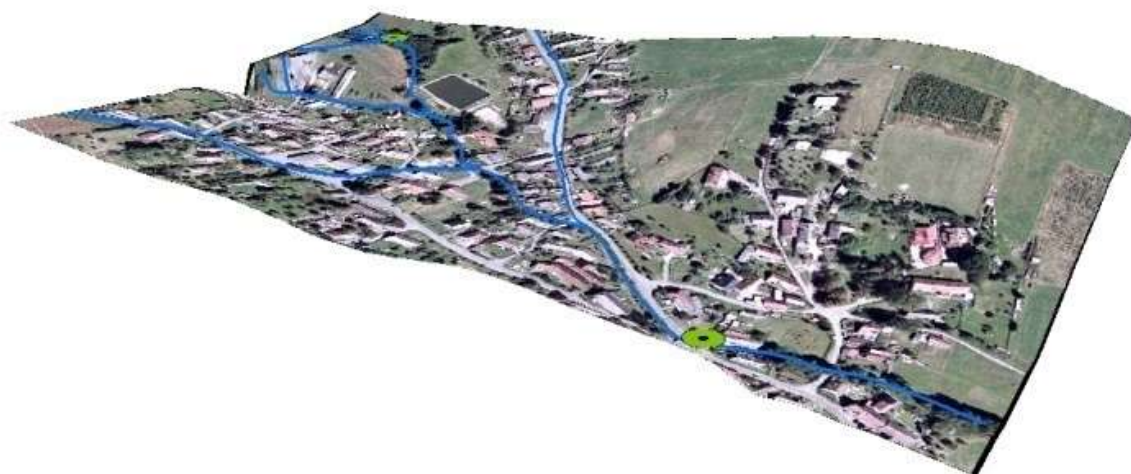
Obr. 9 Digitální model terénu ( výškopis ZABAGED)



Obr. 10 Ortofoto digitálního modelu terénu (ortofoto a mapové podklady ZABAGED)



Obr. 11 Historická ortofotomapa v podobě digitálního modelu terénu  
 (Historická ortofotomapa © CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.  
 Podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009)



Obr. 12 Aktuální ortofotomapa v podobě digitálního modelu terénu  
 (© CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.)



## 8. Chemická analýza vzorků vody

Zkušební odběrové profily byly zvoleny v obci Láz, vůbec první obci ležící na Litavce směrem od pramene. Obec Láz byla vybrána jako potencionální zdroj znečištění. V obci probíhá projektová příprava ČOV a kanalizace (Mladič, 2000). Splaškové vody jsou v obci prozatím zachycovány v bezodtokých jímkách a vyváženy na zemědělsky využívané pozemky. Dešťové vody jsou odváděny z větší části dešťovou kanalizací. Zbytek je odváděn systémem příkopů a propustků do Litavky (Povodí Vltavy, 2010).

První odběrový profil byl zvolen nad obcí, v malém lesíku, mimo zástavbu (odběr 1). Druhý profil byl kvůli možnosti snadného přístupu zvolen v dolní části obce, pod mostkem (odběr 2).

Jednorázový odběr vzorků byl uskutečněn 28. 7. 2010. Vzorky určené pro stanovení obsahu hlavních iontů byly odebrány do 1,5 l PET lahví od Dobré vody bez přísad. Vzorky pro stanovení rozpuštěného kyslíku byly odebrány do zábrusových Erlenmayerových baněk, tzv. kyslíkovek (skleněných lahví se zabroušeným hrdlem s přesně určeným objemem) dva vzorky z každého odběrového místa pro stanovení BSK<sub>0</sub> a BSK<sub>5</sub>. V terénu byla měřena hodnota pH a teplota vody pH-metrem německé výroby Multiline F/set 3 Wissenschaftlich-Technische Werk (97/98). Zeměpisná poloha byla zaměřena pomocí GPS Trimble GeoExplorer GeoXH 2008.

Následná chemická analýza byla provedena v Laboratoři ochrany vod Ústavu pro životní prostředí PřF UK v rámci vybavení laboratoře. Při stanovování jednotlivých ukazatelů se postupovalo dle metodiky Udatného (2009) a laboratorních pracovních postupů (Benešová, 2010). Výsledky chemického rozboru byly vyhodnoceny podle Pittra (1999) a ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod (1998) (Tab. 4).

### 8.1.1. Hodnocení výsledků chemické analýzy vzorků vody

Přestože byly uskutečněny pouze dva pilotní odběry, u druhého profilu byl jednoznačně prokázán očekávaný vliv vesnické zástavby jako zdroje znečištění.

V tabulkové podobě (Tab. 3) jsou uvedeny výsledky chemického rozboru jednotlivých ukazatelů,

Tab. 3 Sledované ukazatele kvality povrchových vod na odběrových profilech v obci Láz

<b>Sledované ukazatele chemického rozboru vzorků vody</b>		
<b>parametr</b>	<b>odběr 1</b>	<b>odběr 2</b>
acidita [mmol/l]	0,49	0,25
alkalita [mmol/l]	0,62	1,14
tvrdost [mmol/l]	0,41	0,51
pH (při laboratorní t vody 16,1 °C)	6,43	6,82
teplota odběru [°C]	13,1	17,8
konduktivita [ $\mu$ S/cm]	91	133
CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	6,5	8,8
BSK <sub>0</sub> [mg/l]	9,05	7,29
BSK <sub>4</sub> [mg/l]	4,65	3,12
BSK <sub>5</sub> [mg/l]	4,59	3,06
Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	10,3	14,4
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	0,7	3,5
veškeré Fe [mg/l]	0,06	0,09
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	0,037	0,207
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2,64	4,53
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	0,31	1,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l]	0,036	0,513
Mn [mg/l]	0	0

Chemický rozbor zaznamenal nejvyšší nárůst koncentrací u dusitanů (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), jejichž obsah stoupl ze 3. jakostní třídy nad obcí až na 5. jakostní třídu na dolním odběrovém profilu. Amonné ionty (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se posunuly z 1. jakostní třídy na prvním odběrovém profilu do 3. třídy na profilu druhém. Významně se zvýšila také vodivost (konduktivita) vody (ze 3. na 4. třídu) a CHSK<sub>Mn</sub>, která se ze 2. třídy sice neposunula, ale koncentrace se zvedly až na hraniční hodnotu 2. a 3. jakostní třídy. Mírné nárůsty byl pozorovány i u vápenatých iontů (Ca<sup>2+</sup>), chloridů (Cl<sup>-</sup>) i železa (Fe<sup>3+</sup>). Obsah dusičnanů (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se na dolním odběrovém profilu téměř zdvojnásobil, nicméně jeho koncentrace stále odpovídaly ještě 1. jakostní třídě. Pokles koncentrací byl zaznamenán pouze u ukazatele BSK<sub>5</sub> ze 3. třídy nad obcí se ukazatel zlepšil na 2. třídu. Koncentrace dusičnanů, dusitanů a amonných iontů byly pro potřeby zařazení dle ČSN 75 7221 přepočítány na koncentrace dusičnanového (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dusitanového (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)



a amoniakálního dusíku ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Zdroje znečištění vybraného úseku Litavky byly vyhodnoceny podle Pittra (1999).

Tab. 4 Sledované ukazatele kvality vody odběrových profilů v obci Láz a příslušné třídy jakosti povrchových vod dle ČSN 75 7221

<b>Sledované ukazatele a jejich zařazení do jakostní třídy dle ČSN 75 7221</b>				
<b>ukazatel</b>	<b>odběr 1</b>	<b>třída</b>	<b>odběr 2</b>	<b>třída</b>
konduktivita [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	91	3	133	4
CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	6,5	2	8,8	2
BSK <sub>5</sub> [mg/l]	4,59	3	3,06	2
vápník [mg/l]	10,3	1	14,4	1
chloridy [mg/l]	0,7	1	3,5	1
železo [mg/l]	0,06	1	0,09	1
dusitanový dusík [mg/l]	0,011	3	0,06	5
dusičnanový dusík [mg/l]	0,597	1	1,02	1
amoniakální dusík [mg/l]	0,24	1	0,88	3
mangan [mg/l]	0	1	0	1

Antropogenním zdrojem amoniakálního dusíku jsou nejčastěji splaškové odpadní vody a odpady ze zemědělských výrob. V tomto případě jde zřejmě o amoniakální dusík pocházející ze splaškových vod, amoniakální dusík je součástí fyziologických odpadů. Ve vodě jsou amonné ionty velmi nestálé, podléhají nitrifikaci, kterou přechází postupně na dusitany a dusičnany. Amoniakální dusík je typickým ukazatelem bodových a difúzních zdrojů znečištění.

Dusičnanový dusík pochází hlavně ze splachů zemědělské půdy nadměrně hnojené dusíkatými hnojivy, zdrojem je sou také atmosférické depozice emisí ze spalování fosilních paliv v dopravě a energetice. Dusičnany jsou charakteristické především pro plošné zdroje.

Dusitany stejně jako dusičnany mají také anorganický původ v atmosférických srážkách. Dusitany vznikají během nitrifikace, jako meziprodukt přeměny amoniakálního dusíku na dusičnany, nebo naopak také při denitrifikace dusičnanů. V povrchových vodách se dusičnany navíc vyskytují v důsledku vypouštění odpadních vod. Přítomnost dusitanů ve vodách indikuje fekální znečištění.

Na zvýšených koncentracích fosforečnanů na druhém odběrovém profilu se podílí splachy ze zemědělských půd, kde je fosfor využíván jako součást průmyslových hnojiv. Zemědělskou plochou je obklopena pouze část sledovaného úseku toku, proto byly jako hlavní zdroj fosforečnanů identifikovány komunální splaškové odpadní vody. Fosfáty jsou obsaženy v pracích prostředcích, kde slouží jako účinné změkčovačlo tvrdosti vody. Hlavním a stabilním zdrojem emisí fosforu z komunálních zdrojů je fosfor z fekálních odpadů. Koncentrace fosforečnanů jsou ovlivněny také atmosférickou depozicí. Pro hodnocení výskytu fosforu v povrchových vodách jsou využívány především dva ukazatele, fosforečnany a celkový fosfor. ČSN 75 7221 je uvedena kategorizace pouze pro celkový fosfor, proto u fosforečnanů nebyla určena třída jakosti vody.

Vápník se do povrchových vod dostává přirozenou cestou vyluhováním vápence, dolomitu, sádrovce a dalších minerálů. Antropogenním zdrojem bývají průmyslové odpadní vody neutralizované vápencem, vápnem, sádrovcem, dolomitom nebo magnezitem.

Zvýšený obsah chloridů je zřejmě zapříčiněn splaškovými vodami. Množství chloridů se do vodních toků dostává také ze zimního chemického posypu komunikací.

Ukazatel BSK<sub>5</sub> vyjadřuje celkový obsah biologicky rozložitelných organických látek v recipientu. Biologicky rozložitelné organické znečištění, vyjádřené ukazatelem BSK<sub>5</sub>, zde představují především komunální splaškové odpadní vody.

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) vyjadřuje veškeré organické znečištění. V zájmové lokalitě se jedná o znečištění komunálními odpadními vodami, které často obsahují specifické organické látky jako jsou tenzidy, detergenty, ropné a další látky pocházející z různých pracích a čistících prostředků.

## 9. Diskuse

Prostřednictvím GIS byla vygenerována sada tematických map charakterizujících vybrané území povodí Litavky. Do GIS byla importována také data získaná chemickou analýzou vzorků vody z Litavky.

Geografický informační systém sloužil v projektu jako geodatabáze i jako nástroj pro tvorbu a zobrazování map. Z leteckých snímků sledované části toku byly vyčteny informace o vesnické zástavbě a zemědělských pozemcích, byly tedy využity i analytické možnosti GIS.

Obec Láz byla zvolena jako potenciální zdroj znečištění toku. Odběrové profily byly záměrně umístěny na obou okrajích obce, z důvodu identifikování konkrétního vliv vesnické zástavby na změnu kvality vody v toku.

Vzhledem k poměrně husté zástavbě, neexistenci kanalizace a čistírny odpadních vod, byly jako hlavní zdroj znečištění vody ve sledovaném úseku vyhodnoceny komunální splaškové vody. Situaci by měla vyřešit plánovaná výstavba ČOV.

Chemický rozbor vzorků vody znečišťující vliv obce na kvalitu vody v toku prokázal. Ze sledovaných ukazatelů určujících jakostní třídu se jako nejzávažnější projevíly dusitany a amonné ionty, jejichž koncentrace v průběhu toku obcí vzrostly o dvě jakostní třídy, dusitany ze 3. třídy odběrového profilu nad obcí se zhoršily až na 5. jakostní třídu. Amonné ionty se posunuly z 1. do 3. třídy.

Hodnocení kvality vody ve vybraném úseku Litavky vychází pouze z jednoho ukázkového odběru. Vzhledem k výrazným rozdílům odběrových profilů se však ukázal jako reprezentativní.

## **10.Závěr**

Projekt GIS a začlenění dat kvality vody přispělo k celkovému studiu povodí Litavky. Získané informace a mapové podklady mohou být využity pro další práci a studium v povodí Litavky nebo jiného malého povodí. Dosavadní práce byla především inventarizací dat, pokud by bylo vyhrazeno více prostoru pro praktickou část, terénní výzkum kvality vody by mohl být rozšířen na více odběrových míst a získaná data by se mohla dále použita pro studium a modelování šíření látek v toku.

## 11.Literatura

- Anne Kull, A., Kull, A., Uuemaa, E., Kuusemets & V., Mander, U. (2000):** Modelling of excess nitrogen in small rural catchments, Agriculture, Ecosystems and Environment 108, s. 45–46
- ArcData Praha (2010):** ArcČR 500, <http://old.arcdata.cz/data/arccr>, cit. 20. 8. 2010
- Arctur, D. & Zeiler, M. (2004):** Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling, ESRI Press, Redlands, California, 441 s.
- Benešová, L. (2010):** Laboratorní pracovní postupy turnusového cvičení předmětu Znečišťování a ochrana vod
- Booth, B. (2000):** Using ArcGIS 3D Analyst, ESRI Press, Redlands, s. 121-123
- Burrough, P. A. & McDonnell R. A. (1998):** Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, Oxford, 333 s.
- Cenia (2010a):** Národní inventarizace kontaminovaných míst, [http://www.cenia.cz/\\_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7RCKSQQ7&cat=about](http://www.cenia.cz/_C12572160037AA0F.nsf/showProject?OpenAgent&PID=CPRJ7RCKSQQ7&cat=about), cit. 15. 7. 2010
- Cenia (2010b):** Kvalita povrchových vod v České republice a její vývoj, [http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSFT33PSN/\\$FILE/vody.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSFT33PSN/$FILE/vody.pdf), cit. 25. 7. 2010
- Čepek L., Zoubek V. (eds) et al. (1961):** Vysvětlivky k přehledné Geologické mapě ČSSR 1:200 000, M-33-XX Plzeň, Ústřední ústav geologický, Nakladatelství Československé akademie věd, s.55-94
- Česká technická norma (1998):** ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod, Český normalizační institut, Praha, 10str, s. 4-7
- ČHMÚ (2010):** Hlásná a předpovědní povodňová služba, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307282](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307282), cit. 28. 7. 2010  
[http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307231](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307231), cit. 28. 7. 2010
- ČÚZK (2010):** Základní báze geografických dat ZABAGED, [http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU\\_ZABAGED](http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED), cit. 15.7.2010
- Dejmal, I. (2000):** Údolí Litavky jako jedinečný přírodní fenomén. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 36-38
- Demek, J.(ed) et al. (1987):** Hory a nížiny, Academia, Praha, s. 34-56
- DIBAVOD (2010):** Digitální báze voohospodářských dat, <http://www.dibavod.cz/>, cit. 20. 8. 2010

- Duras, J., Koželuh, M., Hess, J. & Senftová, L. (2000):** Jakost vody v tocích a nádržích v povodí Litavky. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 71-83
- ESRI (2010):** Geographic information systems, <http://www.esri.com/what-is-gis/index.html>, cit. 15.7.2010
- Fatka, O. & Marek, J. (2000):** Paleoekologie fosilních asociací kambria Příbramsko-jinecké pánve. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 101-105
- GEODIS (2010):** <http://www.geodis.cz/o-spolecnosti/historie>, cit. 20.8.2010
- GISAT (2010):** <http://www.gisat.cz/content/cz/o-nas/profil-firmy>, cit. 20.8.2010
- Graymore, M.L.M., Wallis, A.M. & Richards, A.J. (2009):** An Index of Regional Sustainability: A GIS-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability, Ecological Complexity 6, s. 453
- Hardekopf, D. W., Horecký, J., Kopáček, J. & Stuchlík, E. (2007):** Predicting Long-term Recovery of a Strongly Acidified Stream Using MAGIC and Climate Models (Litavka, Czech Republic), Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 4, 3285–3315
- HEIS VÚV (2010):** Hydroekologický informační systém VÚV T.G.M., <http://heis.vuv.cz/>, cit. 20.8.2010
- Horecký, J., Stuchlík, E., Chvojka, P., Hardekopf, D. W., Michaljevič, M. & Špaček, J. (2006):** Macroinvertebrate Community and Chemistry of the Most Atmospherically Acidified Stress in the Czech Republic, Water, Air, and Soil Pollution (2006) 173: 261–272
- Horecký, J., Stuchlík, E., Chvojka, P., Bitušík, P., Liška, M., Pšenáková, P. & Špaček, J. (2002):** Effects of acid atmospheric deposition on chemistry and benthic macroinvertebrates of forest streams in the Brdy Mts (Czech Republic), Acta Soc. Zool. Bohem. 66:193–207
- Horecký, J. (2003):** Zhodnocení vlivu kyselé atmosférické depozice na chemizmus a oživení horských potoků v ČR, doktorandská dizertační práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 69 s.
- Chlupáč, I. (1994):** Brdy a geologické vědy, Vesmír 73, s. 83
- Janda, J. & Nekut, B. (2000):** Charakteristika povodí Litavky a přítoků. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 41-42
- Johnston, C. A. (1998):** Geographic Information Systems in Ecology, Blackwell, Oxford, 239 s.
- Kaiml, P. (2000):** Kvalita povrchových vod v povodí Litavky, diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, s. 124-128

- Kannan, N., White S.M., Worrall, F. & Whelan, M.J. (2007):** Hydrological modelling of a small catchment using SWAT-2000 – Ensuring correct flow partitioning for contaminant modelling, *Journal of Hydrology* 334, s. 64–65
- Kliment, Z., Kadlec, J. & Langhammer, J. (2008):** Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models, *Catena* 73, s. 286
- Kolejka, J. (2002):** Geografické informační systémy, *Vesmír* 81, červenec 2002, 397- 401
- Koudelák, P., Stránský, D. & Handová, Z. (2000):** Vliv urbanizovaných území na transport znečištění a kvalitu vody v Litavce. In: Němec, J. (ed) *Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy*, MŽP, Příbram, 66-70
- Koudelák, P., Krejčík, J. & Stránský, D. (2010):** Sediment Transport in a Urbanized Basin, Laboratory of Environmental Risks of the Urban Drainage, Faculty of Civil Engineering CVUT, 1-4, [www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/000/327.htm](http://www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/000/327.htm), cit. 20.7.2010
- Krejčík, J. (1999):** Urban Drainage Role in Water Management Planning, doktorandská disertační práce, Praha, [http://www.lermo.cz/pdf/dis\\_krejcik\\_1999\\_en.pdf](http://www.lermo.cz/pdf/dis_krejcik_1999_en.pdf), cit. 18. 7. 2010
- Kučera, Z. (2004):** Jakost povrchových vod a specifické znečištění sedimentů v povodí Litavky, magisterská práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie, s. 115-116
- Ložek, V. (2000):** K charakteristice niv brdských toků. In: Němec, J. (ed) *Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy*, MŽP, Příbram, s. 124
- Maguire, D. J., Batty, M. & Goodchild, M.F. (2005):** GIS, Spatial Analysis, and Modeling, ESRI Press, Redlands, California, s. 319-331
- Maidment, D.R. (2002):** Arc Hydro, GIS for Water Resources, ESRI Press, Redlands, California, 224 s.
- Harlow, M. et al (2000):** Using ArcMap, ESRI Press, Redlands, 308-310
- MO - Ministerstvo obrany ČR (2010):** Vojenský újezd BRDY, [http://www.army.cz/images/id\\_8001\\_9000/8759/01.ppt](http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8759/01.ppt), cit. 18. 7. 2010
- Mitchell, A. (2005):** The ESRI guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics, ESRI Press, Redlands, California, s. 196-197
- Mladič, J. (2000):** Odkalování obcí a čištění komunálních odpadních vod v horní části povodí Litavky. In: Němec, J. (ed) *Modelové území povodí Litavky: Krajinnotvorné programy*, MŽP, Příbram, s. 62
- Novotná, I. (2000):** Vyhodnocení kvality vody ve vodním toku Litavka, diplomová práce, Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, s. 2–11

- Pehal, Z. (2004):** Vodní a látková bilance pramenné části povodí Litavky v Brdech, diplomová práce, Katedra ekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, 111 s.
- Pitter, P. (1999):** Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 str.
- Povodí Vltavy (2010):** Plán oblasti povodí Berounky, [http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/C/4\\_LISTY\\_OPATRENI/C4\\_06/1\\_PROGRAM\\_OPATRENI/BE100056.pdf](http://www.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/C/4_LISTY_OPATRENI/C4_06/1_PROGRAM_OPATRENI/BE100056.pdf), cit. 20. 7. 2010
- Pullar, D. & Springer, D. (2000):** Towards integrating GIS and catchment models, Environmental Modelling & Software 15, s.451–459
- Quitt, E. (1971):** Klimatické oblasti Československa, Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 str., s. 11-13
- Rapant, P. & Vojtek, D. (2009):** Kudy kam a jak, GIS a GPS / Mobilní geoinformační technologie, Vesmír 88, 643-647
- Stuchlík, E., Horecký, J. & Kulina, J. (2000):** Vliv kyselé atmosférické depozice na chemismus a oživení pramenného úseku řeky Litavky. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajínovotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 130-133
- SWAT (2010):** <http://swatmodel.tamu.edu/>, cit. 20. 8. 2010
- Šobra, J. (2004):** Aplikace GIS při modelovém hodnocení kvality vody v povodí Berounky, diplomová práce, Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 94 s.
- Tlapáková, M., Votrubová, J. & Kubala, P. (2000):** Vodohospodářská bilance povodí Litavky. In: Němec, J. (ed) Modelové území povodí Litavky: Krajínovotvorné programy, MŽP, Příbram, s. 86
- Tuček, J. (1998):** GIS – Geografické informační systémy – Principy a praxe, Computer Press, Praha, 424 s.
- Udatný, M. (2009):** Sledování kvality toků v povodí CHKO Křivoklátsko, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 74 s.
- Volaufová, L. (2008):** Kvalita povrchových vod v České republice, Vesmír 87, s. 768
- VÚV TGM (2010):** Základní charakteristiky toku LITAVKA a jeho povodí, <http://www.dibavod.cz/index.php?id=24>, cit. 28. 7. 2010
- Žák, K., Rohovec, J. & Navrátil, T. (2009):** Fluxes of Heavy Metals from a Highly Polluted Watershed During Flood Events: A Case Study of the Litavka River, Czech Republic, Water Air Soil Pollut, 203:343



## **12.Mapové podklady**

**Čepek L. (ed) et al. (1961):** Geologická mapa ČSSR, 1:200 000, mapa předčtvrtohorních útvarů, M-33-XX Plzeň, Ústřední ústav geologický, Praha

**ZABAGED** – polohopis, mapový list ZM10, digitální, formát dat shp (JTSK), ČÚZK

**ZABAGED** – výškopis 3D vrstevnice, mapový list ZM10, digitální, formát dat shp (JTSK), ČÚZK

**Ortofoto**, mapový list ORTOFOTO (5 km<sup>2</sup>), digitální, formát dat JPG (S-JTSK), ČÚZK

**Historická ortofotomapa** © CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o., podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009  
<http://kontaminace.cenia.cz/>

**Současná ortofotomapa** © CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.  
<http://kontaminace.cenia.cz/>

## Seznam použitých zkratk

CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
ČOV	čistírna odpadních vod
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DPZ	dálkový průzkum Země
DSS	<i>Decision Support System</i> – systém pro podporu rozhodování
DTM	<i>Digital Terrain Model</i> – digitální model terénu
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GIS	<i>Geographical Information System</i> – geografický informační systém
GPS	<i>Global Positioning System</i> – globální polohovací systém
IS	informační systém
LMS	letecké měřičské snímky
MGIT	mobilní geoinformační technologie
NIKM	Národní inventarizace kontaminovaných míst
SEKM	Systém evidence kontaminovaných míst
S-JSTK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
TIN	<i>Trianguled Irregular Networks</i> - nepravidelné trojúhelníkové sítě
ÚSES	územní systémy ekologické stability
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
VÚV T.G.M.	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i> – Světový geodetický systém 1984
ZABAGED	Základní báze geografických dat

## 13. Přílohy

### 13.1. Metodika stanovení ukazatelů jakosti vody

#### Potenciometrické stanovení pH

pH se hodnotí potenciometrickým stanovením, které spočívá ve měření rozdílu potenciálů dvou elektrod ponořených do vzorku. Byla použita kombinovaná elektroda, která vyžaduje nejprve nastavení teploty vody.

#### Konduktivita

Konduktivita neboli měrná vodivost představuje schopnost vody vést elektrický proud. Konduktivita je míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody (Pitter, 1999).

#### Stanovení celkové zásadové neutralizační kapacity (celkové acidity, ZNK<sub>8,3</sub>)

Celková acidita se stanovuje titrací vzorku vody odměrným roztokem NaOH o koncentraci 0,1 mol/l na indikátor fenolftalein.

Do titrační baňky ke 100 ml vzorku byly přidány 3 kapky fenolftaleinu, roztok byl dále titrován 0,1 M roztokem NaOH do stálého slabě růžového zabarvení roztoku. Ze spotřeby titračního činidla byla následně vypočtena ZNK<sub>8,3</sub> podle vzorce (1).

$$\text{ZNK}_{8,3} = \frac{V_e \cdot f_{(\text{NaOH})} \cdot c_{(\text{NaOH})}}{V_0} \quad (1)$$

ZNK <sub>8,3</sub> .....	zásadová neutralizační kapacita (mmol/l)
c <sub>(NaOH)</sub> .....	koncentrace odměrného roztoku NaOH (mol/l)
f <sub>(NaOH)</sub> .....	faktor odměrného roztoku NaOH (0,9802)
V <sub>e</sub> .....	spotřeba odměrného roztoku NaOH (ml)
V <sub>0</sub> .....	objem vzorku (ml)

#### Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (celkové alkality, KNK<sub>4,5</sub>)

Celková kyselinová neutralizační kapacita se stanovuje titrací vzorku odměrným roztokem 0,1 M HCl na směsný indikátor (roztok bromkresolové zeleně a metylenové červeně).

Do titrační baňky ke 100 ml vzorku byly přidány 3 kapky směsného indikátoru, roztok byl titrován odměrným roztokem 0,1 M HCl z modrého zbarvení do odstínu cibulové barvy. Ze spotřeby titračního činidla byla vypočtena  $\text{KNK}_{4,5}$  podle vzorce (2).

$$\text{KNK}_{4,5} = \frac{V_e \cdot f_{(\text{HCl})} \cdot c_{(\text{HCl})} \cdot 10^3}{V_o} \quad (2)$$

$\text{KNK}_{4,5}$  .... zásadová neutralizační kapacita (mmol/l)

$c_{(\text{HCl})}$  ..... koncentrace odměrného roztoku NaOH (mol/l)

$f_{(\text{HCl})}$  ..... faktor odměrného roztoku HCl (1,0340 )

$V_e$  ..... spotřeba odměrného roztoku HCl (ml)

$V_o$  ..... objem vzorku (ml)

### **Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem draselným podle Kubela ( $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ )**

$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  se používá jako nepřímé hodnocení znečištění vody organickými látkami, které podléhají chemickému rozkladu. Hodnota CHSK je mírou celkového obsahu organických látek ve vodě (Volaufová, 2008).

Kubelova metoda stanovení chemické spotřeby kyslíku je založena na oxidaci organických látek 0,01 N manganistanem draselným ( $\text{KMnO}_4$ ) v kyselém prostředí kyseliny sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) při desetiminutovém varu. Oxidace musí probíhat za minimálně 40 % přebytku manganistanu. Úbytek manganistanu spotřebovaného na oxidaci organických látek se určí manganometrickým stanovením tak, že po ukončení oxidace se do reakčního roztoku přidá známé množství odměrného roztoku kyseliny šťavelové ( $(\text{COOH})_2$ ), která se následně zpětně titruje opět manganistanem.

Do titrační baňky s varnými kamínky bylo odměřeno 100 ml vzorku, přidáno 5 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  zředěné v poměru 1:2 a 20 ml 0,01 N odměrného roztoku  $\text{KMnO}_4$ . Roztok byl přiveden k varu a ponechán dále vařit po dobu 10 minut. K horkému roztoku bylo ihned přidáno 20 ml standardního odměrného roztoku 0,01 N  $(\text{COOH})_2$ , původně fialový roztok se odbarvil. Odbarvený roztok byl následně zpětně titrován 0,01 N  $\text{KMnO}_4$  do slabě růžového zbarvení.  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  byla spočtena ze spotřeb odměrných roztoků dle vzorce (3)

$$\zeta_{\text{Mn}} = \frac{V_e \cdot 80}{V_o} \quad (3)$$

CHSK<sub>Mn</sub> .. chemická spotřeba kyslíku KMnO<sub>4</sub> (mg/l)

80 ..... konstanta pro přepočet organických látek na kyslík

V<sub>e</sub> ..... spotřeba roztoku KMnO<sub>4</sub> při titraci (ml)

V<sub>0</sub> ..... objem vzorku (ml)

### Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní (BSK<sub>5</sub>)

BSK<sub>5</sub> je další metodou nepřímého stanovení organických látek, tentokrát těch, které jsou biologicky odbouratelné při aerobních podmínkách (Volaufová, 2008).

Kyslík rozpuštěný ve vzorku vody reaguje s hydroxidem manganatým v alkalickém prostředí za vzniku ekvivalentního množství hydroxidu manganitého a manganičitého (Mn(OH)<sub>3</sub> a Mn(OH)<sub>4</sub>). Mangan s vyšším oxidačním číslem přechází po okyselení vzorku a po přidavku jodidu opět na ion manganatý, přitom jodid oxiduje na ekvivalentní množství jodu. Jod se pak stanoví titrací odměrných roztokem thiosíranu na indikátor škrob.

Vzorek v Erlenmayerově baňce byl ještě v den odběru fixován 2 ml srážecího roztoku I. vypouštěného u dna, poté 2 ml srážecího roztoku II. vypouštěného těsně pod hladinou. Vzorek byl promíchán a ponechán do druhého dne ve tmě. Vznikla rezavě hnědá sraženina hydroxidu manganitého.

Po dokonalém usazení sraženiny byl pryžovou hadičkou odsát čirý roztok nad sraženinou do poloviny lahve, bylo přidáno 5 ml zředěné H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(1:4) a směs byla promíchána. Poté byly přidány 2 ml 15% roztoku jodidu draselného (KI) a opět promíchána. Po 5 minutách byl vyloučený jód v kyslíkové lahvi titrován roztokem 0,05 N sirnatanu sodného (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) do světle žlutého zbarvení. Byl přidán škrobový indikátor a dotitrováno do odbarvení. Ze spotřeby odměrného roztoku byla vypočítána biologická spotřeba kyslíku počáteční (BSK<sub>0</sub>) dle vzorce (4).

Vzorky pro stanovení BSK<sub>5</sub> byly v den odběru uloženy do tmy. Stanovení BSK<sub>5</sub> bohužel vycházelo na víkend, proto byla stanovena stejným způsobem BSK<sub>4</sub> a z ní BSK<sub>5</sub> vypočítána dle vzorce (5). (Ze vzorce pro BSK<sub>4</sub> bylo vyjádřeno L a jeho hodnota byla dosazena do stejné rovnice pro BSK<sub>5</sub>)

$$c_m(O_2) = \frac{V_e \cdot f \cdot c \cdot 8 \cdot 10^3}{V_k - V_r} \quad (4)$$

$c_m(O_2)$  ..... množství rozpuštěného kyslíku ve vzorku (mg/l)

$V_e$  ..... spotřeba  $Na_2S_2O_3$  (ml)

$c_{(Na_2S_2O_3)}$  .... koncentrace  $Na_2S_2O_3$

$f_{(Na_2S_2O_3)}$  .....faktor odměrného roztoku  $Na_2S_2O_3$  (0,9950)

$V_k$  ..... objem kyslíkové lahve (ml)

$V_r$  ..... celkový objem srážecích činidel přidaných do lahve (4 ml)

8 ..... stechiometrická přepočítávací konstanta na kyslík

$$BSK_t = y = 1 - (L - 10^{-k_1 * t}) \quad (5)$$

$BSK_t$  ..... bichemická spotřeba kyslíku za t dní

t ..... počet dní

$k_1$  ..... 0,2

### Tvrdość vody

Pro chelatometrickou titraci se používá chelaton 3 (disodná sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové). Chelaton 3 reaguje s kovovými ionty za vzniku ve vodě rozpustných komplexních aniontů; při reakci se zároveň uvolňují ionty  $H^+$ , které výrazně ovlivňují rovnováhu chemické reakce. Z tohoto důvodu je nutné použít pufr (amoniakální tlumivý roztok o pH 10). Jedna molekula chelatonu reaguje vždy s jedním kationtem kovu, a to bez ohledu na jeho oxidační číslo. Pro určení bodu ekvivalence titrace se používá erichromová čerň T, která vytváří vínově červený komplex s vápenatými a hořečnatými kationty.

Do vzorku upraveném při stanovení celkové alkality bylo přidáno 5 ml tlumivého roztoku. Po promíchání směsi byl přidán indikátor erichromová čerň T, roztok se zbarvil vínově červeně. Poté byl titrován odměrným roztokem 0,05 M chelatonu 3 do jasně modrého zabarvení. Tvrdość byla vypočítána ze spotřeby chelatonu 3 dle následujícího vzorce (6).

$$\frac{V_e * f_{(Chelaton III)} * c_{(Chelaton III)} * 10^3}{V_o} \quad (6)$$

T ..... tvrdość vody (mmol/l)

$c_{(CH_3)}$  ..... konc. odm. roztoku Chelatonu 3 (mol/l)

$f_{(CH_3)}$  ..... faktor odměrného roztoku Chelatonu 3 (1,0246)

$V_e$  ..... spotřeba odměrného roztoku v Chelatonu 3 (ml)

$V_0$ ..... objem vzorku (ml)

### Chelatometrické stanovení vápníku chelatonem 3

Komplex Chelatonu 3 s vápenatými kationty je stálý i v silně alkalickém prostředí (o pH 12 – 13), zatímco komplex s hořečnatými kationty je v tomto alkalickém prostředí nestabilní a hořčík je vysrážen ve formě hydroxidu hořečnatého. Bod ekvivalence je dán změnou zabarvení při uvolnění volného indikátorového aniontu.

Do titrační baňky ke 100 ml vzorku byly přidány 2 ml 1 N NaOH. Poté indikátor Murexid. Následně byl roztok titrován odměrným roztokem Chelatonu 3 z růžového do jasně fialového zabarvení. Koncentrace vápenatých iontů vypočtena dle vzorce (7).

$$x) = \frac{V_e \cdot f_{(\text{Chelaton III})} \cdot c_{(\text{Chelaton III})} \cdot 40,08 \cdot 10^3}{V_0} \quad (7)$$

$c_{(\text{Ca}^{2+})}$  ..... koncentrace vápenatých kationtů (mg/l)

$c_{(\text{CH}_3)}$  ..... konc. odm. roztoku Chelatonu 3 (mol/l)

$f_{(\text{CH}_3)}$  ..... faktor odměrného roztoku Chelatonu 3 (1,0246)

40,08 ..... molekulová hmotnost Ca

$V_e$  ..... spotřeba odměrného roztoku v Chelatonu 3 (ml)

$V_0$  ..... objem vzorku (ml)

### Argentometrické stanovení chloridů (podle Mohra)

Stanovení chloridů je založeno na titraci odměrným roztokem dusičnanu stříbrného v neutrálním prostředí (pH 6,5 – 10,5) za vzniku sraženiny chloridu stříbrného. Konec titrace je indikován chromanem draselným, který tvoří se stříbrnými ionty hnědou sraženinu chromanu stříbrného.

Ke 100 ml přefiltrovaného vzorku byl přidán 1 ml 5 % dichromanu draselného ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). Nejprve byl titrován slepý vzorek a poté vzorek pravý odměrným roztokem 0,02 N  $\text{AgNO}_3$  do prvního trvalého přechodu barvy ze světle žluté do oranžově hnědé. Koncentrace chloridových aniontů byla spočtena ze spotřeby odměrného roztoku  $\text{AgNO}_3$  dle vzorce (8).

$$y) = \frac{V_e - V_s \cdot f_{(\text{AgNO}_3)} \cdot c_{(\text{AgNO}_3)} \cdot 35,45 \cdot 10^3}{V_0} \quad (8)$$

$c_{(Cl^-)}$  ..... koncentrace chloridových aniontů (mg/l)  
 $c_{(AgNO_3)}$  ..... konc. odm. roztoku  $AgNO_3$  (mol/l)  
 $f_{(AgNO_3)}$  ..... faktor odměrného roztoku  $AgNO_3$  (0,9756)  
 35,45 ..... molekulová hmotnost Cl  
 $V_e$  ..... spotřeba odměrného roztoku  $AgNO_3$  (ml)  
 $V_s$  ..... spotřeba odměrného roztoku  $AgNO_3$  při slepém stanovení (ml)  
 $V_0$  ..... objem vzorku (ml)

### Stanovení veškerého železa absorpční spektrofotometrií po reakci s thiokyanatanem

Po oxidaci železnatých iontů peroxidem vodíku ( $H_2O_2$ ) na trojmocné ionty reaguje železo v kyselém prostředí s 20 % roztokem thiokyanatanem draselným (KSCN) za vzniku červeného komplexu.

Ke 40 ml vzorku byl přidán 1 ml zředěné HCl a 1 ml zředěného peroxidu. Po 5 minutách stání bylo přidáno ještě 5 ml roztoku KSCN a ihned byl vzorek doplněn na 50 ml destilovanou vodou. Ve spektrofotometru byla měřena absorbance ve 4 cm kyvetách proti slepému stanovení při vlnové délce 500 nm. Koncentrace železitých kationtů byla zjištěna z rovnice kalibrační přímky.

$$A * x = c_{(Fe^{3+})}$$

$A$  ..... absorbance barevného komplexu  
 $c_{(Fe^{3+})}$  ..... koncentrace  $Fe^{3+}$  ve vzorku (mg/l)  
 $x$  ..... směrnice přímky (1,6923)

### Stanovení dusitanů

0,6 % Sulfanilová kyselina je diazotována v prostředí kyseliny octové kyselinou dusitou (ze vzorku) na diazoniovou sůl. Ta je následně kopulována 0,6 %  $\alpha$  – naftylaminem v prostředí upraveném octanovým pufrům na pH 2 - 2,5 a vzniká červenofialové azobarvivo. Intenzita zabarvení je přímo úměrná koncentraci dusitanů ve vzorku.

K 50 ml vzorku byl přidán 1 ml kyseliny sulfanilové, po promíchání a 5 min stání 1 ml  $\alpha$  – naftylaminu. Po 40 minutách měřena absorbance ve spektrofotometru proti slepému stanovení ve 4 cm kyvetách při vlnové délce 520 nm. Koncentrace dusitanů byla vypočtena z rovnice kalibrační přímky.



$$A \cdot x = c_{(\text{NO}_2^-)}$$

A ..... absorbance barevného komplexu

$c_{(\text{NO}_2^-)}$  ..... koncentrace  $\text{NO}_2^-$  ve vzorku (mg/l)

x ..... směrnice přímky (0,3333)

### Stanovení dusičnanů

Pouze filtrací upravený vzorek vody byl měřen ve spektrofotometru proti destilované vodě v 1 cm kyvetách při vlnové délce 214 nm. Koncentrace dusičnanů ve vzorku byla zjištěna z rovnice kalibrační přímky.

$$A \cdot x = c_{(\text{NO}_3^-)}$$

A ..... absorbance vzorku

$c_{(\text{NO}_3^-)}$  ..... koncentrace  $\text{NO}_3^-$  ve vzorku (mg/l)

x ..... směrnice přímky (9,4444)

### Stanovení anorganických fosforečnanů

Orthofosforečnany se po reakci s molybdenanem v prostředí kyseliny sírové a po redukci cínatou solí zbarvují do měřitelného modrého zbarvení.

K 50 ml vzorku byl přidán 1 ml kyselého roztoku molybdenanu amonného a roztok byl promíchán. Po 5 min stání byl mikropipetou přidán 0,1 ml chloridu cínatého ( $\text{SnCl}_2$ ) a po promíchání a 10 min stání byla změřena absorbance na spektrofotometru proti slepému stanovení při vlnové délce 700 nm ve 4 cm kyvetách. Koncentrace fosforečnanů ve vzorku byla odvozena z rovnice kalibrační přímky.

$$A \cdot x = c_{(\text{fosforečnanů})}$$

A ..... absorbance vzorku

$c_{(\text{PO}_4^{3-})}$  ..... koncentrace  $\text{PO}_4^{3-}$  ve vzorku (mg/l)

x ..... směrnice přímky (1,0256)

### Stanovení amonných iontů

Reakcí amonných iontů s chlornanovými ionty za přítomnosti vybarvovacího činidla (salicylan sodný, dihydrát citronan trisodný, nitroprussid sodný a destilovaná voda) vzniká

modrozelená sloučenina. Chlornanové ionty se tvoří alkalickou hydrolyzou sodné soli dichlorisokyanuratan sodného, za vzniku chloraminu. Vznikající chloramin reaguje v přítomnosti nitrosoprusidu sodného při pH 12,6 se salicylanem sodným za vzniku sloučeniny. Intenzita zabarvení této sloučeniny je přímo úměrná koncentraci amonných iontů ve vzorku.

Ke 40 ml byly přidány 4 ml vybarvovacího činidla, roztok byl promíchán a byly k němu přidány 4 ml dichlorisokyanuratanu sodného. Roztok byl doplněn do 50 ml destilovanou vodou, opět promíchán a po 1 hodině stání byla změřena absorbance v 1 cm kyvetách při 655 nm proti slepému stanovení. Koncentrace amonných iontů ve vzorku byla odvozena z rovnice kalibrační přímky.

$$A \cdot x = c_{(\text{NH}_4^+)}$$

A ..... absorbance vzorku

$c_{(\text{NH}_4^+)}$  ..... koncentrace  $\text{PO}_4^{3-}$  ve vzorku (mg/l)

x ..... směrnice přímky (1,2857)

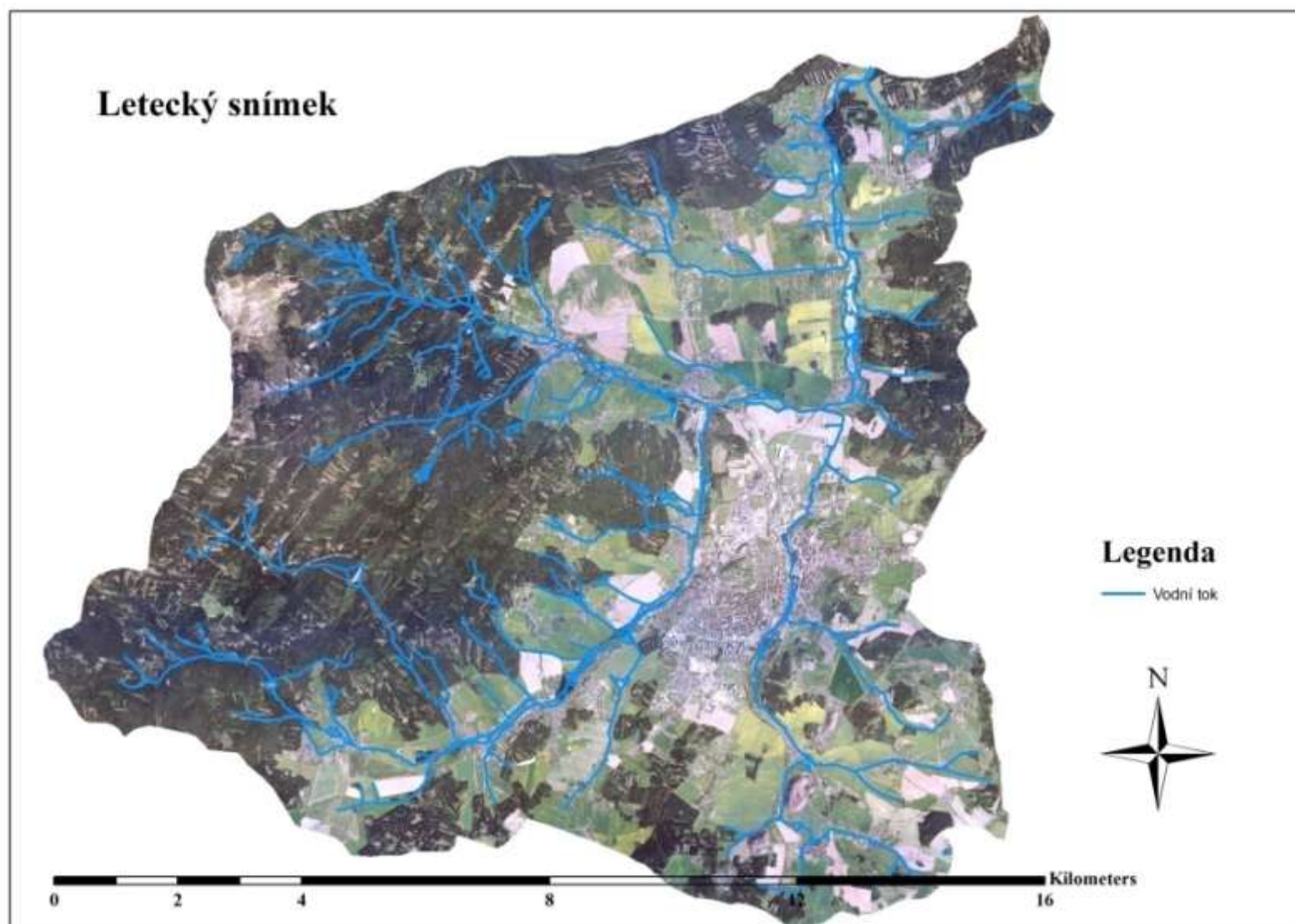
### **Stanovení manganu po oxidaci persíranem**

V prostředí kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ) se sloučeniny manganu kvantitativně oxidují persíranem na manganistan. Intenzita zbarvení je úměrná koncentraci manganu.

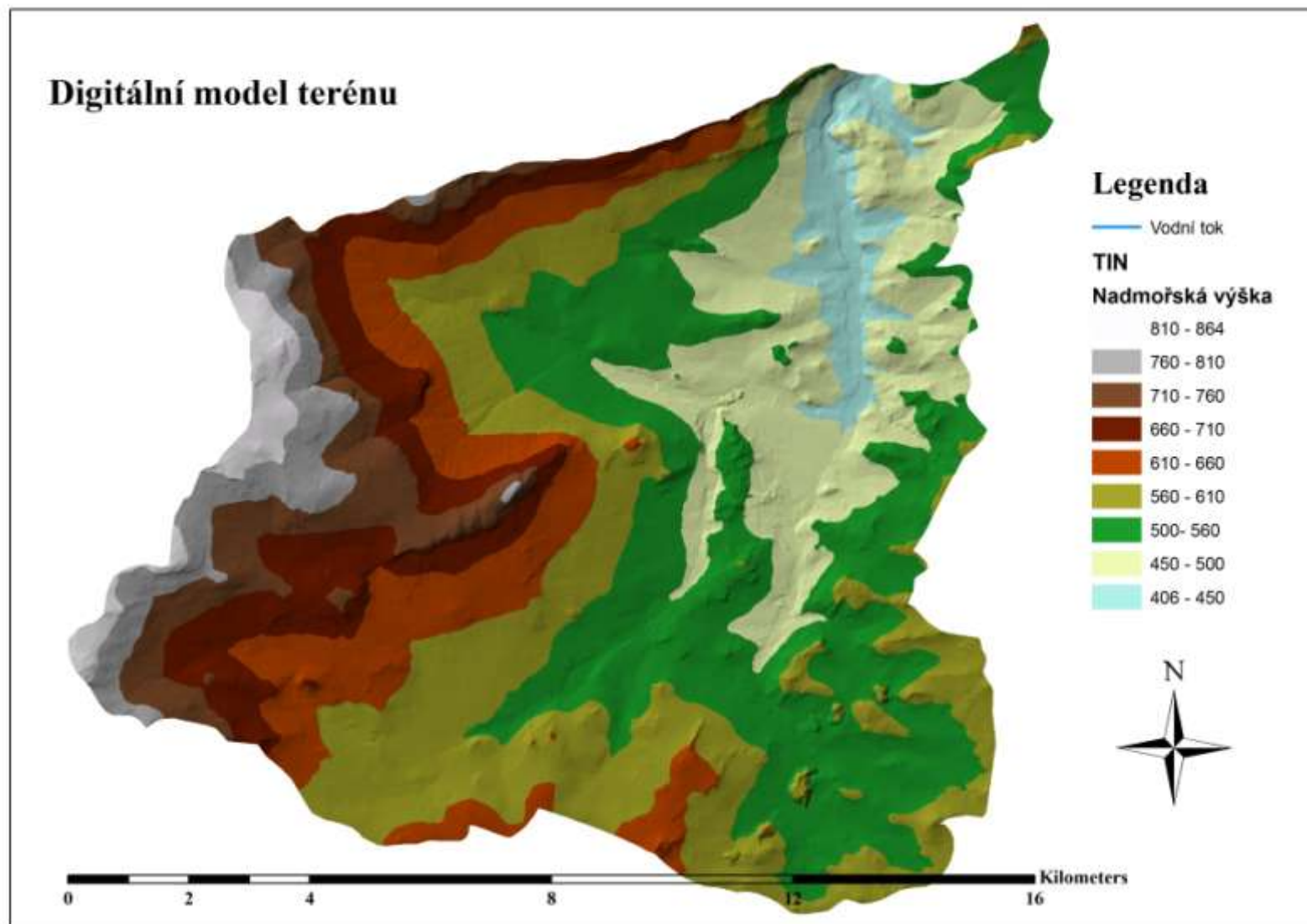
Ke 100 ml vzorku byly přidány 2 ml konc.  $\text{HNO}_3$ , poté byl přikapáván dusičnan stříbrný ( $\text{AgNO}_3$ ), dokud vznikal zákal srážením chloridových aniontů. Poté byl přidán ještě přebytek dusičnanu, lžička persíranu a po zahřátí na vařiči byl roztok udržován ve varu ještě po dobu 10 min. Roztok nezrůžověl, mangan tedy neobsahoval, proto již absorbance měřena nebyla.

## **13.2.      Obrazová příloha**

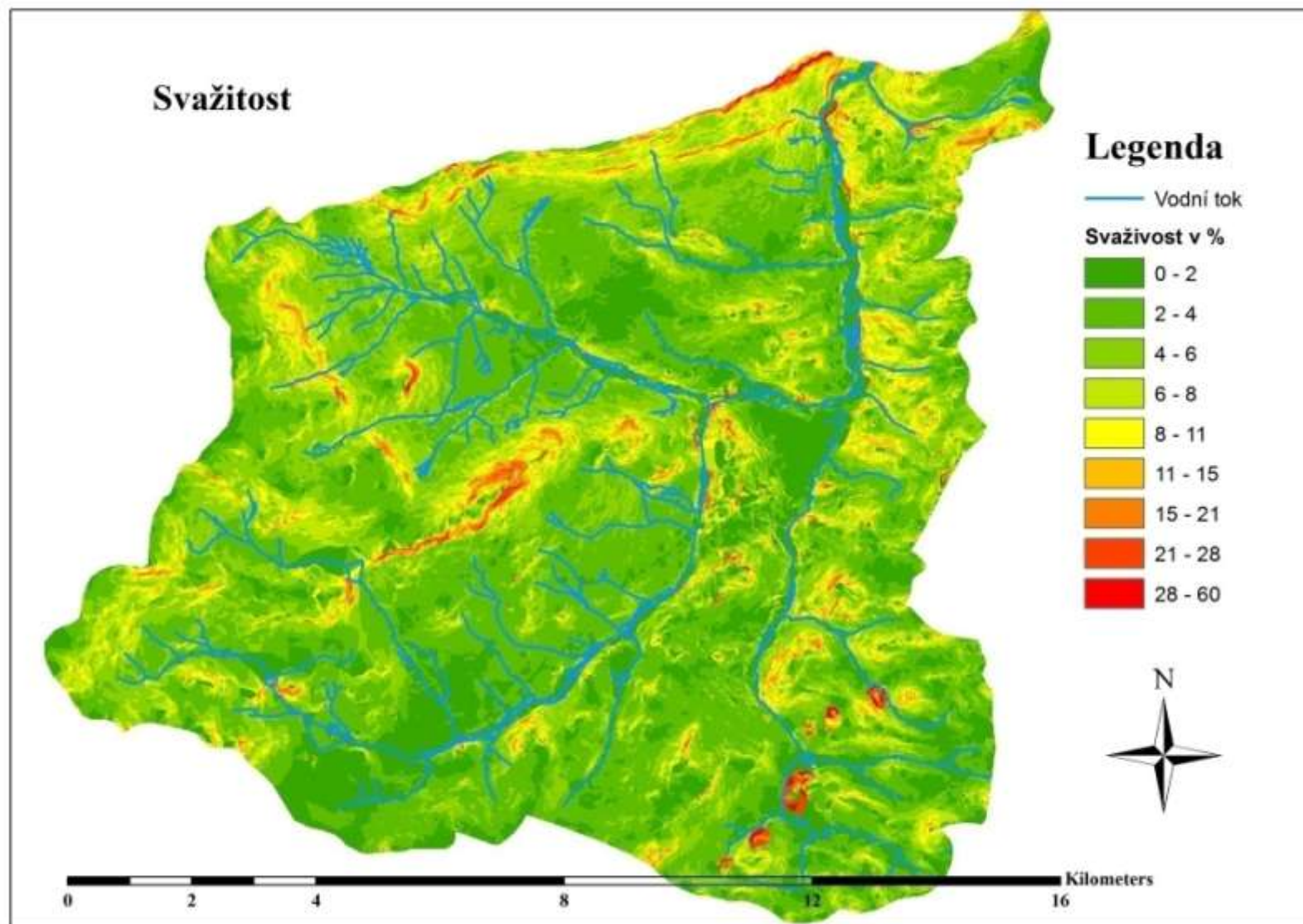
### **13.2.1.      Mapové vrstvy generované prostřednictvím GIS**



Obr. 13 Digitální model terénu s vrstvou leteckých snímků (ortofoto a mapové podklady ZABAGED)

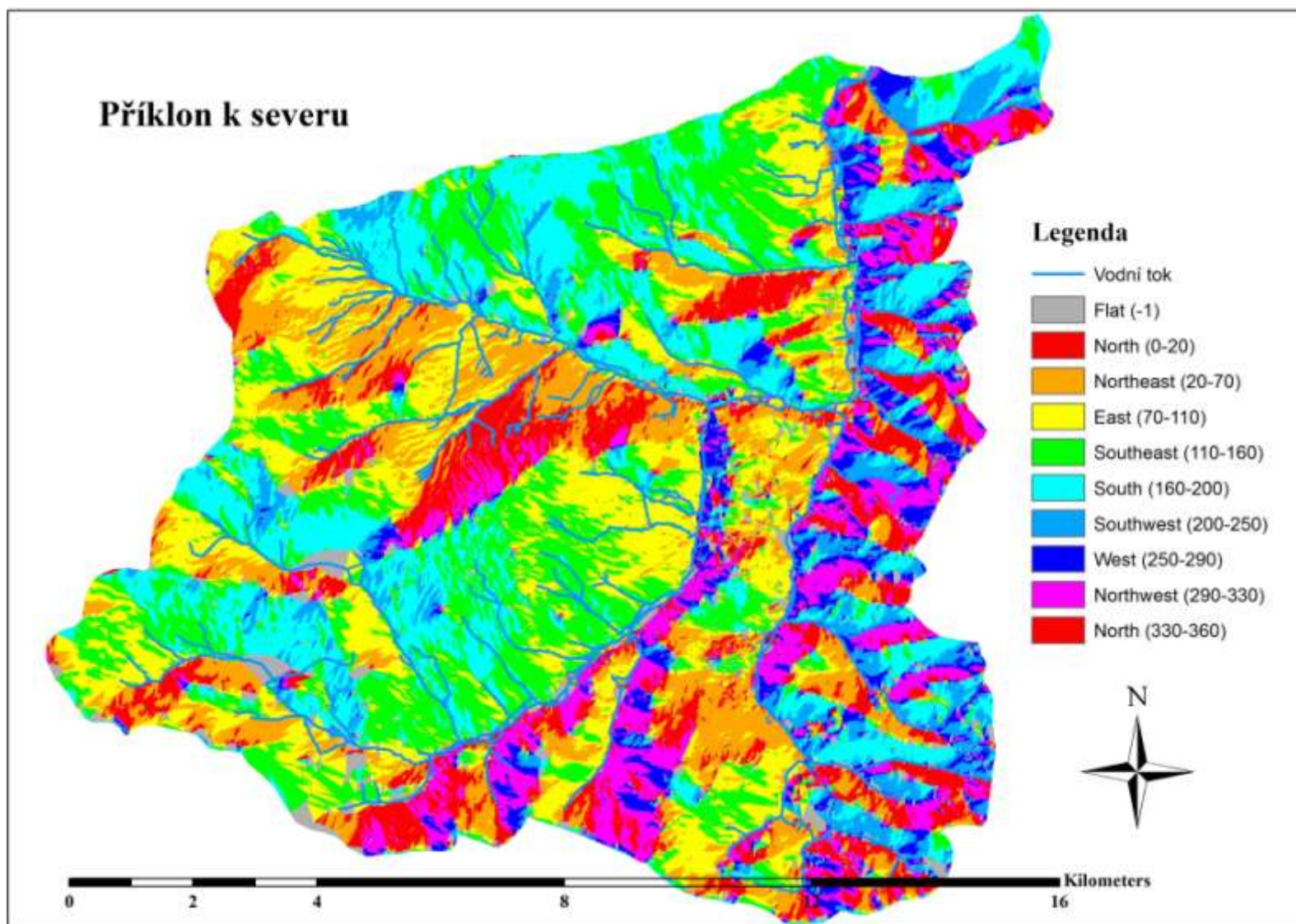


Obr. 14 Digitální model terénu (TIN) (výškopis ZABAGED)

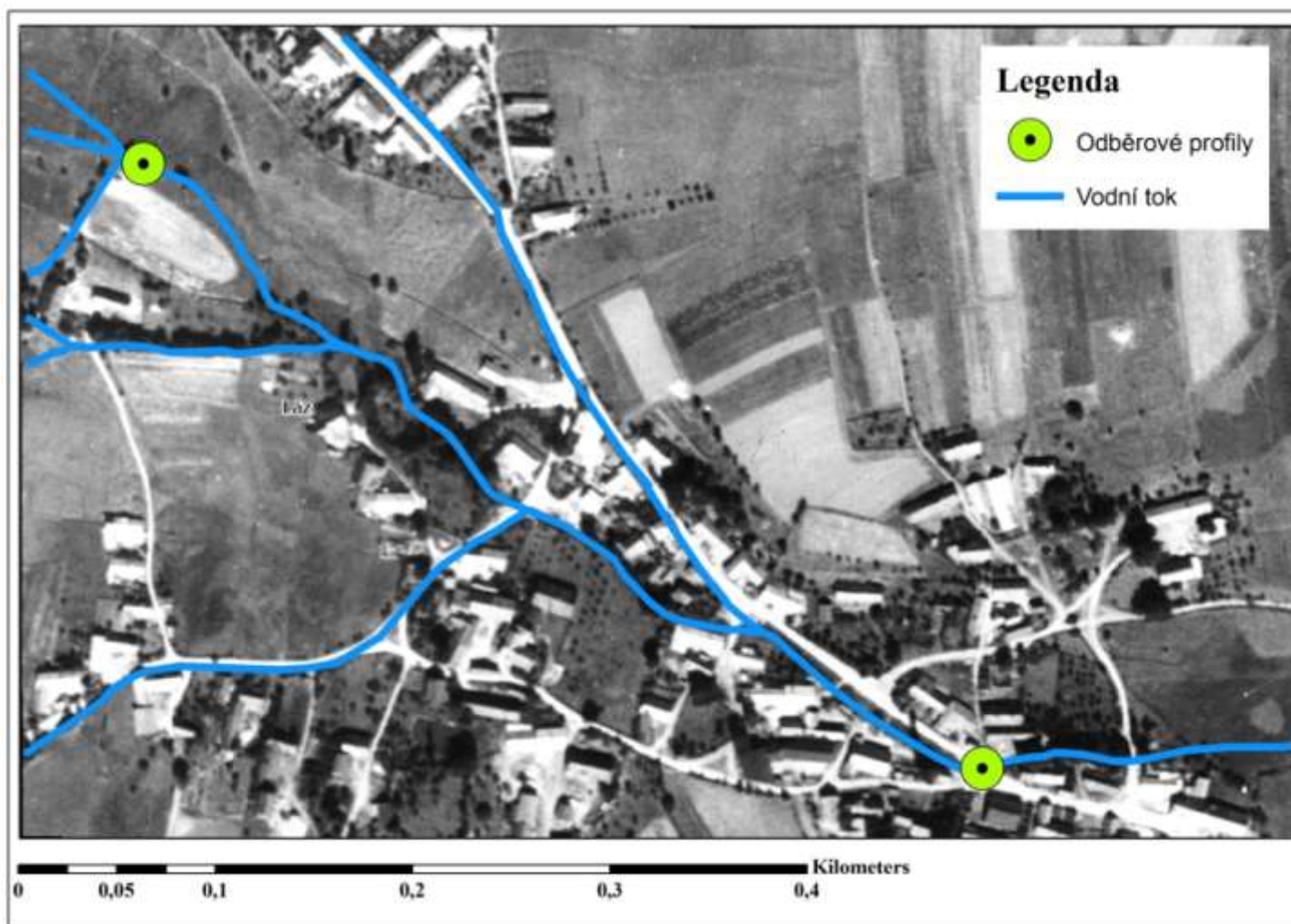


Obr. 15 Svažitost zájmového území v % (mapové podklady ZABAGED)



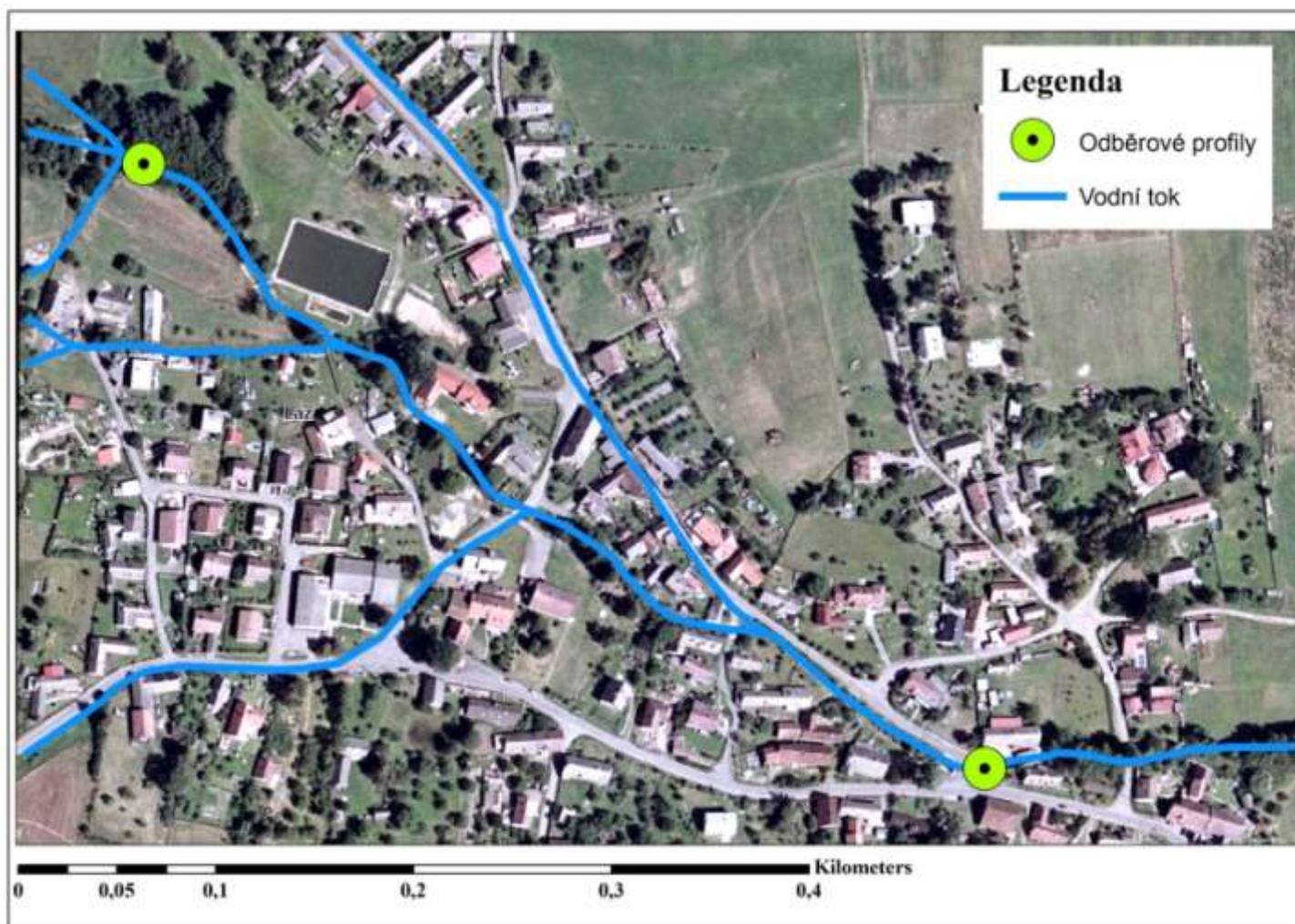


Obr. 16 Příklon zájmového území k severu (mapové podklady ZABAGED)



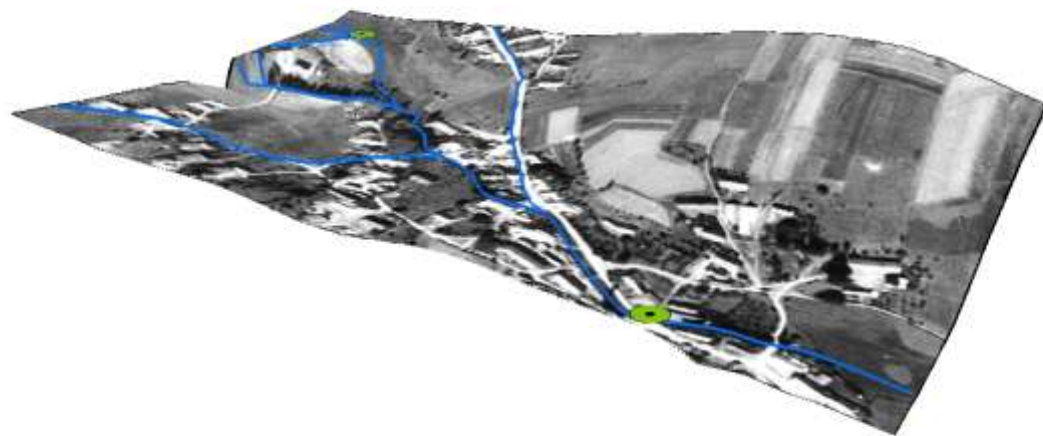
Obr. 17 Historický snímek obce Lázeň s vyznačeným vodním tokem a odběrovými profily((© CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.,  
podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009)



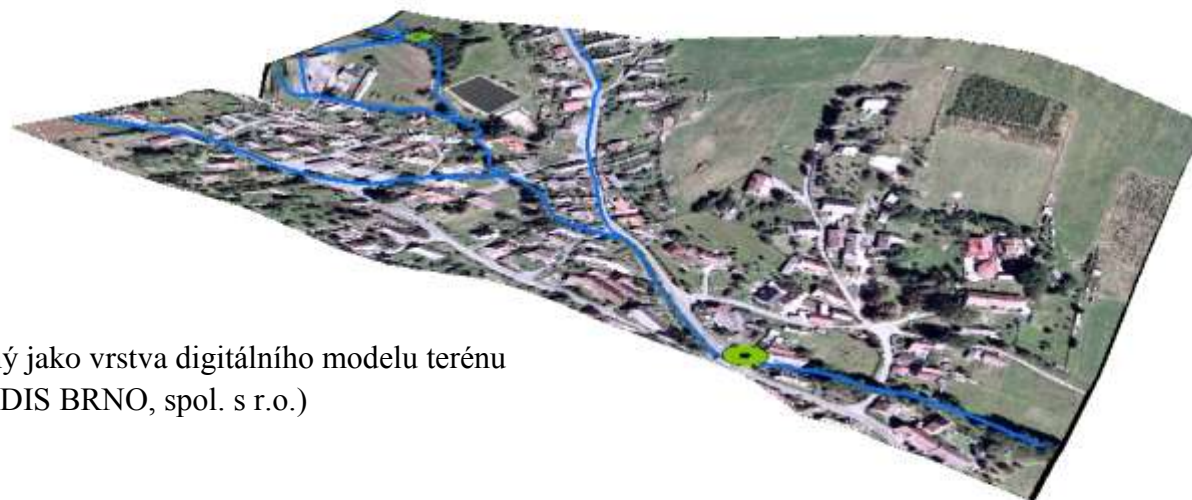


Obr. 18 Aktuální snímek obce Láz s vyznačeným vodním tokem a odběrovými profily(© CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.)

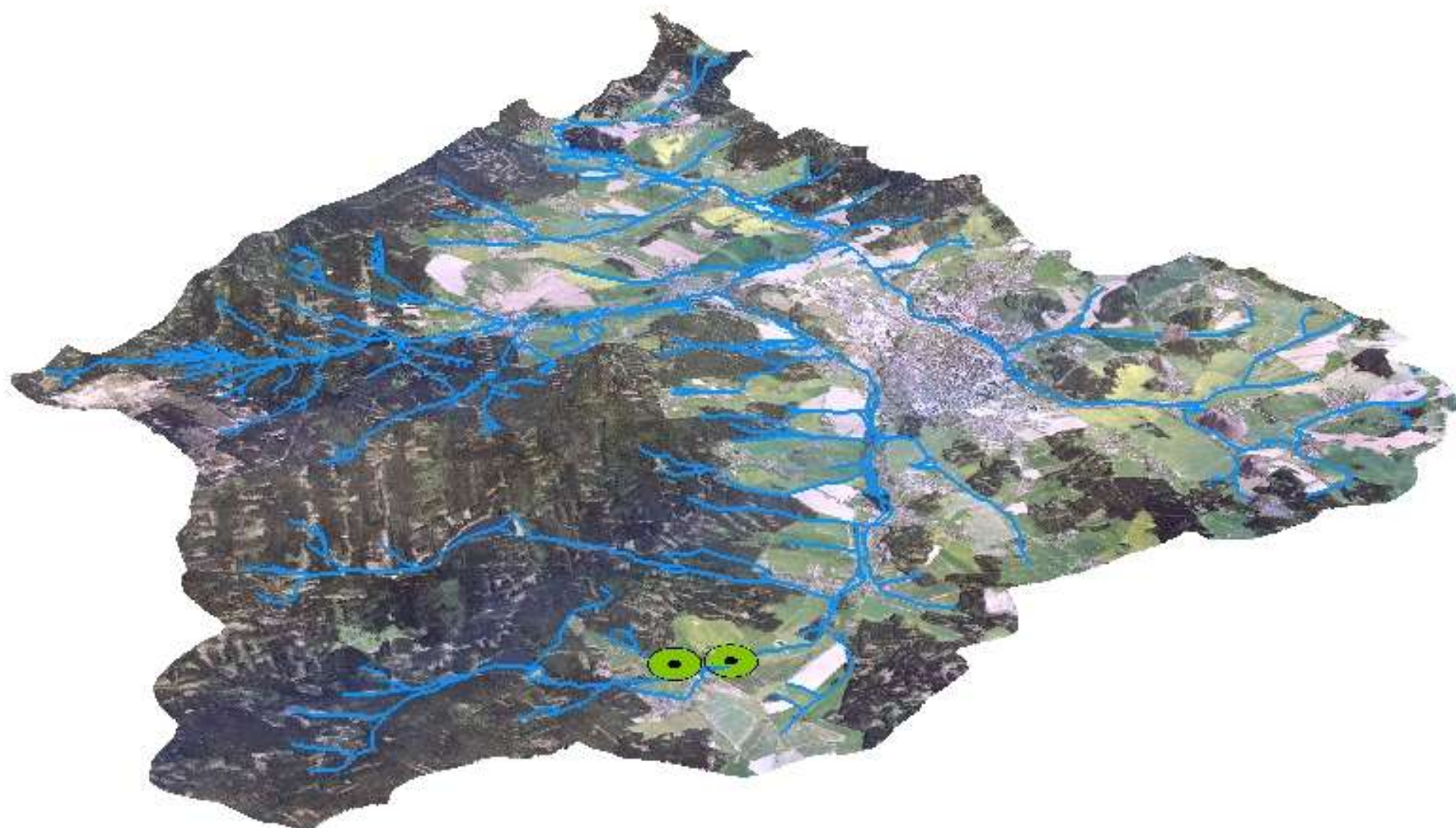




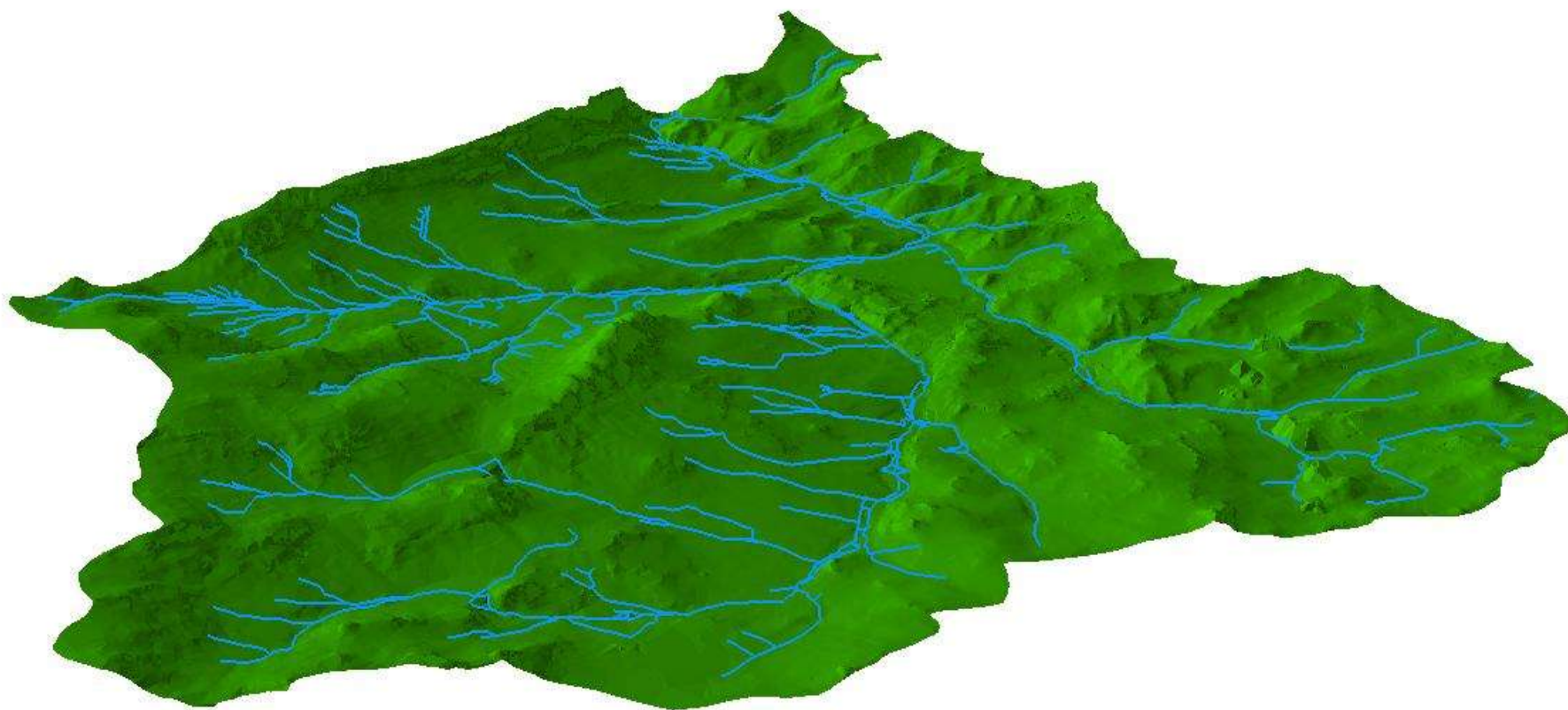
Obr. 19 Historický letecký snímek zobrazený jako vrstva digitálního modelu terénu(© CENIA 2010  
a © GEODIS BRNO, spol. s r.o., podkladové letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2009)



Obr. 20 Aktuální letecký snímek zobrazený jako vrstva digitálního modelu terénu  
(© CENIA 2010 a © GEODIS BRNO, spol. s r.o.)



Obr. 21 Digitální model terénu zájmového území povodí Litavky s vyznačenými vodními toky a odběrovými profily v obci Láze (ortofoto a mapové podklady ZABAGED)



Obr. 22 Digitální model terénu zájmového území (mapové podklady ZABAGED)



### 13.2.2. Fotografie odběrových míst



Obr. 23 Odběrový profil v lesíku nad obcí Láz (Odběr 1)



Obr. 24 Odběrový profil za mostkem v dolní části obce Láz (Odběr 2)



Obr. 25 Opevněné koryto druhého odběrového profilu (Odběr 2)



Obr. 26 Zaměřování polohy pomocí GPS přístroje GeoExplorer GeoXH 2008 (Odběr 2)





Obr. 27 Měření konduktivity pomocí přístroje SM 325 (WTW, 97/98)



Obr. 28 Most v dolní části Obce Láz (Odběr 2)